

发震构造类型与震型预测

秦保燕 刘武英

(国家地震局兰州地震研究所)

摘 要

本文讨论了发震构造类型与其所发生的地震的类型之间的关系,认为弧形构造的地震类型主要为主余震型和主震—强余震型;平直构造为主震—弱余震型;拐折形构造为续发性大震型;当构造间交角区为拉应力区时,共轭形构造一般为双震型;破碎形构造为震群型。另外,本文还讨论了震源端部构造条件对震形的影响。作者认为震源端部构造一般起调整作用,其能否为地震时断层的错动提供足够的让位条件,决定了其发震类型的差别。在本文中作者还讨论了不同发震构造的地理环境与最大地震强度的关系及今后需要进一步研究的一些问题。

震型预测是地震预报的重要组成部分。本文从不同发震构造类型具有障碍体差异这一观点出发,探讨由发震构造类型预测地震序列类型的可能性。

一、发震构造类型与震型预测

根据实际发震构造的几何特征,发震构造可分为弧形、平直形、拐折形、交叉形(共轭形和非共轭形)、破碎形(网络形、非网络形)。这些不同的构造类型在区域应力场作用下积累剪切应变能最终发生地震时,其震源破裂过程与始破裂点位置,发震断层破裂端部的断层错动方向与障碍体的相对位置密切相关。当震源断层面传播的端部压应力区与障碍体相遇时,震源断层面的破裂速度、破裂方向会发生突变,并导致主震能量释放不足,从而在主震发生后,在障碍体附近会发生强余震。一般来说震源破裂过程中与障碍体相遇(在压力区相遇)的发震构造类型属于余震比较发育的类型。下面对不同发震构造类型和相应的震型进行初步讨论。

1、弧形发震构造

从地震孕育的角度看,在区域应力场作用下,弧形构造的拐弯部位会产生类似于断层面的凹凸体一样的闭锁作用,因此这种构造能储存较大的剪切应变能并最终发生特大地震。从地震时的破裂过程来看,有如图1a和1b两种情况。

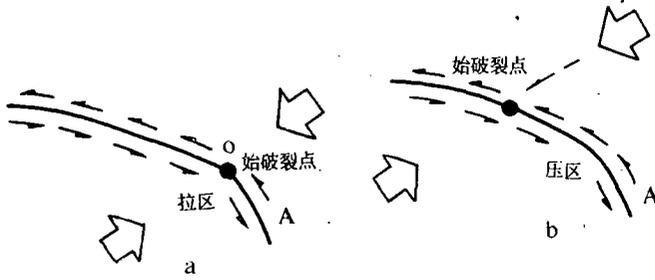


图1 弧形构造与震源破裂过程

- a、破裂过程无障碍区
- b、破裂过程遇障碍体 (NNW 向构造)

Fig.1 Arc-like fault and focus breaking process

由图可知,只有当地震时传播断层的一侧端部的动态压应力区与拐弯构造相遇时,破裂传播才受到阻挡,如图2b所示。一旦在震源破裂前进方向受到阻挡,首先表现为震源破裂速度有一突然下降,破裂方向拐弯。这时可导致主震能量在该处释放不足。但由于整个震源断层面的上的剪切应力水平很高,在断层破裂方向拐弯处破裂速度可再次提高,从而能量释放不足的地区仅是拐弯

部分,它可成为主震后强余震的预测区,或者成为余震相当发育的地区。因此弧形构造的地震类型有两种,一种是主余震型(图2a),另一种是主震—强余震型(或主震—余震发育型)。

2、平直形发震构造

平直形构造的断层面比较平直,这种构造由于长期的构造运动,断层面上摩擦力小。要孕震必须在断层面上重新形成凹凸体,关于这个问题立交模式已作了说明^[1]。对于这一类型的发震构造,在发震断层破裂传播过程中其破裂速度和破裂方向基本上保持一致,因为破裂过程没有障碍体。这样这种发震构造的地震序列类型为主震—弱余震型。

3、拐折形发震构造

拐折构造是指两构造基本上头尾相接,但走向不同,走向夹角呈锐角(一般小于30°)。拐折构造的发震类型也有两种情况,如图2a和图2b所示。图2a与图1a相类似,破裂过程不会遇到障碍体(即构造A),所以会呈现主余震型。图2b则为续发性大震型,即当A断层传播到A、B断层交界区时,由于端部压力区与拐折构造B断层相遇,压应力增大,A断层错动受阻,破裂速度突然下降并停止。但由于B断层已积累了很大的剪切应变能,加之A断层的运动在B断层端部产生的高应力集中,致使第二次主震发生。在第一次主震发生后和第二次

主震发生前往往在A、B断层的交接区发生次一级的强震。这个次级强震实际上是第一次主震的强余震。此震发生后障碍体消除,第二次主震发生。对第二次主震来说,它又可相当于第二次主震的前震。我们把图2a称为拉拐,图2b称为压拐。压拐形构造发生续发性大震。例如1966年邢台续发性大震和1976年松潘续发性

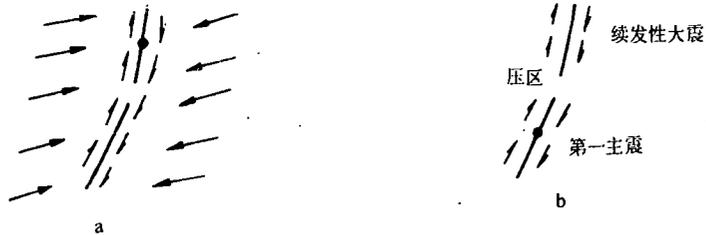


图2 拐折形发震构造

- a、破裂过程无障碍区
- b、破裂过程在断层拐折处有障碍体 (压区)

Fig.2 Inflection-fold earthquake-generating fault

大震,它们的发震构造均为压拐形,如图 3 所示。对于压拐形续发性大震,其余震序列一般应比拉拐形余震序列发育。

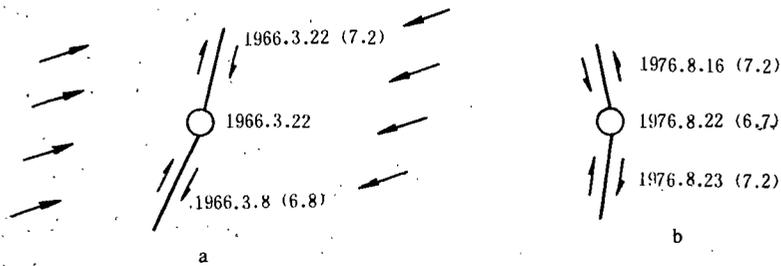


图 3 压拐形续发性大震震例

a、1966 年邢台地震 b、1976 年松潘地震

Fig.3 Examples of continuous great shock occurred on pressure inflection type fault

4、共轭形发震构造

共轭形发震构造是指两发震构造相交且交角较大。根据发震构造走向相交的角度,我们也将分为两种类型,一种是共轭形,另一种是非共轭形,发震构造交角大但不正交。对于这种类型,在不同的构造应力场作用下,其交叉构造发震时的错动方式也有两种情况,如图 4 所示。图 4a 是两发震构造构成的内角为压区,而图 4b 中的内角为拉区。很显然内角为拉区的易于发生双震(图 4b),而图 4a 中的两条断层组成的内角为压区,故断层互相起阻挡作用。因此一旦发震,其地震强度要高,并可能以一次主震型地震出现。从我国实际资料统计可以发现,双震型地震的发震构造一般以图 4b 所示的类型和错动特点为主。例如 1976 年龙陵双震型以及 1976 年盐源双震型就是这样的,如图 5 所示。

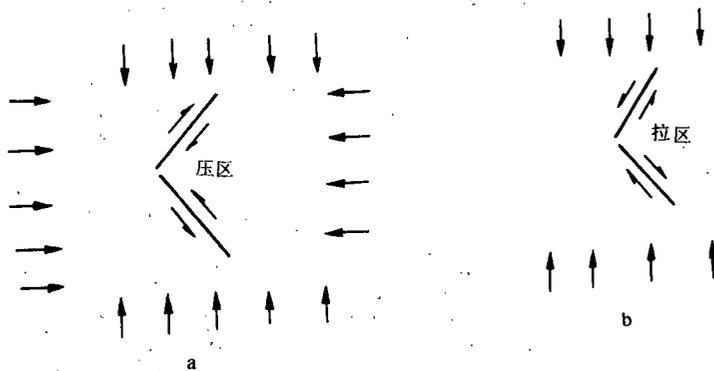


图 4 共轭形发震构造与双震型

a、共轭构造的内角为压区(不易发生双震)

b、共轭构造的内角为拉区(双震型)

Fig.4 Conjugate earthquake-generating fault and example of double shock type

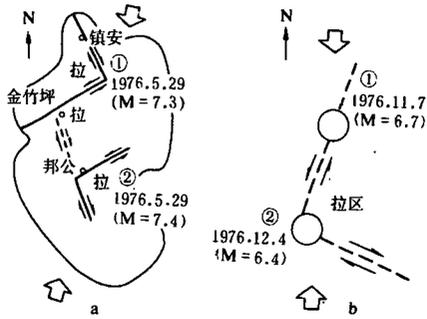


图5 共轭形发震的双震型震例

a、1976年龙陵双震 b、1976年盐源双震

Fig. 5 Examples of double shock type occurred on conjugate type fault

5、破碎形发震构造

破碎形发震构造有两种，一种很规则，如共轭构造网络。马边地区的震群就属于这种类型，其整个地震群的震源机制几乎是完全一样的。中强地震的数目往往以偶数出现，一般为4次，即共轭构造网络的四边均发生地震，从而形成稳定格局。另一种是不规则的走向不同的发震构造，其震源机制就不是一样的了。由于前者比较规则，所以震群的地震强度差异小，而后者震群的地震强度差异要大一些。

二、震源的端部构造条件对震型的影响

震源端部的构造一般起调整作用，这种构造有蠕滑断层、横向构造、破碎区、高温区、富含流体、气体的地区等。当调整单元对地震时错来的岩体有快速提供让位的能力时，主震的能量释放会比较彻底。如果不能提供很快的让位，那就会发生频繁的余震，甚至发生强余震。下面分别予以讨论。

1、孤立形震型

这种震型大多数发生在已发大震区。已发大震区由于大震时造成了无数的大的软弱区，软弱区之间的发震段长度较小。例如1920年海原8.5级地震后，在极震区范围每隔10年左右发生一次中强地震，地震震级最大不超过5.5级。这类地震由于错动幅度小，端部软弱区让位条件好，故一般为孤立型地震类型，即前震和余震均不发育。

2、主余震形

形成主余震型的震源端部条件一般有蠕滑断层、介质破裂区、多液区等。这类端部条件其调整、让位的能力较高，因而主震在端部的能量释放较彻底。所以端部的强余震比较少。如都兰地区大震的震源端部是湖泊，而大震后很少记到较强的余震。

3、主震—强余震型

主震震源区端部如果是热介质塑性区，它往往在震时不能快速提供让位，这样大震后热区外围会发生较强余震或者主震震源区余震会很发育。此外如果主震端部存在横向构造，且横向构造位于震源断层破裂前缘的拉应力区内，则参照图3b中的断层组合，主震端部横向构造会发生强余震。例如1976年唐山地震时发震断层与端部的断层组合完全与图3b相类似，所不同的仅是横向构造尺度小于主震震源体尺度。此外，唐山大震震源体两个端部均有横向断层，且它们都位于地震时的动态拉应力区，这些横向断层均发生了强余震。其断层组合如图6所示。

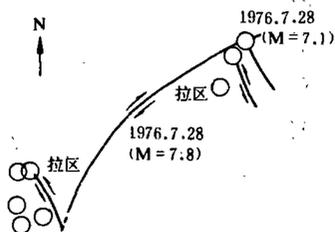


图 6 唐山大震震源端部的
横向构造与强余震

Fig. 6 Crosswise faults at focal
end of the Tangshan
great earthquake and
strong aftershocks

以上讨论的发震构造和震型是仅根据水平构造力源作用下讨论的结果。实际上我国大陆地壳还受到垂直力的作用。根据文献〔4〕的研究,我国浅源大震震源底部存在调整层(低速层或低阻层)。当孕震层底部地壳有垂直运动发生时,孕震层与低速层之间会发生层间解缚,从而为大地震时震源区的下沉准备空间。对于余震来说,大震后必然产生垂直方向的重力调整运动,从而导致余震发育(仅与受水平力作用的震源相比),在震源机制上也可以反映余震的重力调整运动特点。

三、不同发震构造的地理 环境与最大地震强度

根据我们的统计,不同的发震构造往往具有不同的地理环境。震源端部的构造条件也往往与地理环境有关。下面分别进行讨论。

1、弧形发震构造

弧形发震构造一般位于地壳块体的弧形角部,其地震强度一般可达到 7.7,最大可达到 8.6。为了节省篇幅,以图 7 表示我国 $M \geq 7.7$ 级特大地震与地壳块体弧形角部的相关性。

2、平直形发震构造

平直形发震构造一般位于地壳块体的平直边界带上。由于块体间频繁的构造运动,块体边界变得愈来愈平直。例如青藏高原块体西北缘北东东向的阿尔金断裂带、青藏高原东北边界祁连山断裂带均是比较平直的边界带,此外鲜水河地震带、都兰地震带的断层面也比较平直。这类构造上发生的地震一般余震不发育。

3、拐折形发震构造

拐折形发震构造一般也位于地壳块体的边界带上,但边界并不平直。例如青藏高原块体的东缘边界是不太平直的边界。这是因为青藏高原内部的很多北西西向构造运动对青藏高原东缘边界起了改造作用。此外,地壳块体内部往往先产生羽状断裂,随后羽状断裂之间发生连接,形成块体的最初边界。例如山西地堑的发震构造和邢台至唐山发震构造就是这种类型,如图 8 所示。

4、网络形或破碎形发震构造

我国中强震震群一般发生在古火山区,如腾冲震群;地壳块体的角部或构造交汇区,如马边震群、康定震群等;构造运动强烈的湖泊区,如 1962 年霍布逊湖震群,尽管主震相对要大,但强余震、余震序列非常发育。我国大陆内部还有一些湖泊地区也有类似情况。这些震例表明,这些地区不仅具有发生震群的构造条件,而且水的作用不可忽视。如古火山区腾冲震群地区,地下介质不仅温度高,而且该区分布有温泉,同时也是怒江通过的地区;马边震群区刚好位于金沙江拐弯的地区,康定附近的震群位于大渡河拐弯处。因此是否发生震群,除构

造条件外，震源地区环境水的充足程度起着十分重要的作用。环境水首先对较浅的震源发生作用，当这些地震发生后又为较深地震的发生创造条件。这样地表环境水与震源是有联系的。这就是说在那些具有网络、破碎构造条件的地区，如没有环境水的作用，则震群难以发生。或者即使发生也不会很发育。根据我们的统计，中强震群的震级一般为6级左右，最高不超过6.5级。

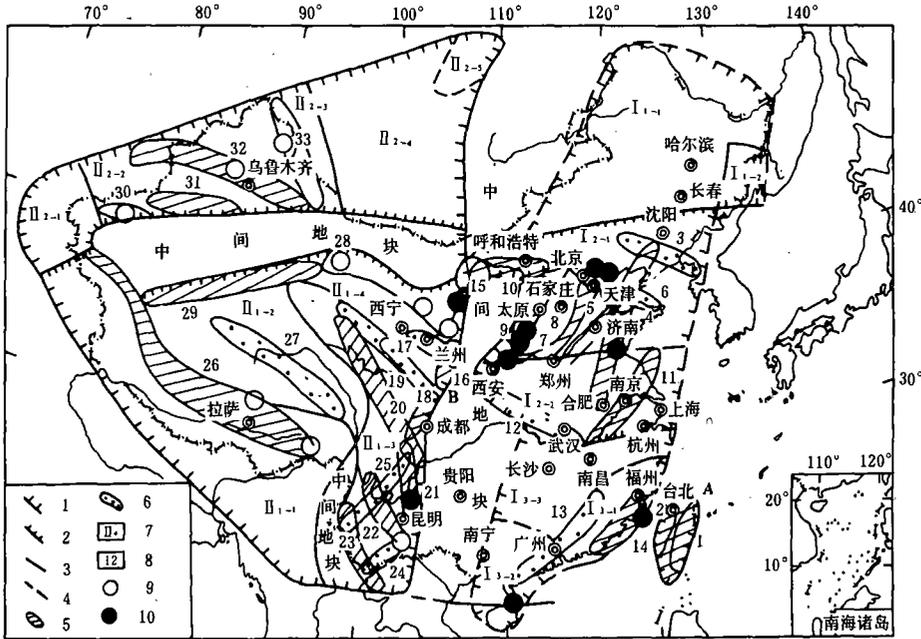


图7 我国 $M \geq 7.7$ 特大地震与地壳块体弧形角部的相关图

A、台湾地震区 B、中国大陆及边邻地震区

- 1、大区边界 2、亚区边界 3、次亚区边界 4、粗略边界
- 5、主要地震带 6、非主要地震带 7、亚区编号 8、地震带编号
- 9、1900年以后大地震 10、1900年以前大地震

Fig.7 Relation figure between earthquakes ($M \geq 7.7$) and arc corner of crustal blocks in China

四、讨论

综上所述，根据发震构造的类型以及相关条件进行震型的预测是可能的。如果活动断层研究能提供正确的活动断层的几何参数，配以已知的构造应力场，以及震源环境水源丰度的资料，那么进行震型的预测并作出震型的地理区划也不难实现。为了深入研究这个问题，我们认为以下问题尚需进一步研究。

1、始破裂区的确定

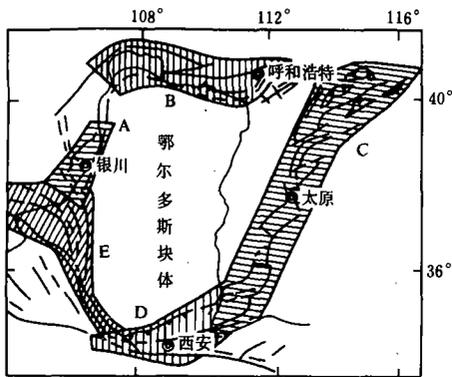


图 8 鄂尔多斯块体东侧边界的转折构造

Fig. 8 Inflection—fold faults on east boundary of Ordos Block

本文的研究表明，对于弧形发震构造和续发性大震来说，当应力场已知时，对于某些震型的判别（如弧型和转折型等）依赖于始破裂点位置的预测。但是始破裂区的位置往往存在随机性的一面。当然也有某些因素仍可作为判断始破裂位置的参考。例如始破裂区有可能是立交模式中的立交区^{〔3〕}，该区应是震前小震共轭条带的交汇区。此外，当区域应力场与发震断层的走向接近 45° 或略小于 45° 时，则应判断始破裂区应位于此断层上。对于震后的震型判别，由于始破裂区的位置已知，所以判别震型较为容易。

2、发震类型与地震强度

总的来说发震构造愈长，主震能量愈大。因此对于同一构造来说，如分段释放能量，则其地震强度将比整段能量释放小得多。对于弧形构造和转折构造，在预测地震强度时应分别考虑整体和分段释放能量这两种可能情况。特别是当弧形拐弯弯度很大时，分段释放能量的可能性是存在的。而对于转折构造，当转折角度不大，且转折处在破裂过程中无明显压区出现时，整段释放能量的可能性很大，此时主震震级必然增大。

3、今后应通过主事件分析法研究震源破裂过程中速度和方向阶跃和改变的地点，并与活动断层的几何参数等进行对比，以便进一步提出用发震构造几何参数定量判别震型的指标。

（本文 1990 年 6 月 20 日收到）

参考文献

- 〔1〕 IGCP 第 206 项中国工作组，中国活断层图集，地震出版社，西安地图出版社，1989。
- 〔2〕 张诚等，中国地震震源机制，学术期刊出版社，1990。
- 〔3〕 郭增建，立交模式预报地震的讨论，西北地震学报，Vol. 7, No. 2, 1985。
- 〔4〕 秦保燕，论地震孕育的层间解缚模式与我国某些大震的余震机制，西北地震学报，Vol. 4, No. 3, 1982。

TYPES OF EARTHQUAKE—GENERATING FAULTS
AND EARTHQUAKE TYPE FORECASTING

Qin Baoyan, Liu Wuying

(*Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSB, China*)

Abstract

This paper discusses the relationship between the types of earthquake—generating faults and the earthquake types which occurred on the faults with various types. The authors consider that the type of earthquake occurred on arc—like fault is mostly mainshock—aftershock type or mainshock—strong aftershock type; the flat—straight fault leads to mainshock—weak aftershock type; the fold line fault leads to the continuous great earthquake type; the conjugate fault contrast with the double shock type when the conjugate angle is located tensile strain region and the broken faults region have seismic swarm type. It points out the effect of structural condition at focal end, which has modulating action, on earthquake type, whether the structure at focal end can offer enough abdicating condition for fault disturbance during earthquake or not will result in the difference of earthquake type. Finally, it also discusses the effect of geographic conditions of seismic fault on the maximum seismic intensity, and some questions that need studying in future.