

# 西海固地区的特殊的P波初动

秦保燕 徐纪人

(兰州地震研究所)

按照传统的观点,在地壳范围内发生的大多数地震属于断层地震,因为在地壳范围内缺乏相变的条件。对于深源地震则认为它是一种剪切运动加上体积的收缩或扩张的结果。然而,近几年来我们在整理西海固地区震源机制资料的过程中发现,这个地区有一些地震的P波初动是划不出节线的,有的以正号波为主,有的则以负号波为主。其震源深度大都位于地壳范围内。这类地震的直接成因显然是不能用一种简单的断层错动来解释的。本文列举了西海固地区这几次特殊P波初动分布的资料,并对形成这类地震的成因进行了初步探讨。

## 一 西海固地区的压缩型和扩张型地震

西海固地区位于1920年海原8.5级大地震的极震区范围内。大震发生后该区内发生了很'多次'中强地震以及发生了更多的小震。1982年我们对1970年以来的中小地震重新进行了震源机制处理,共处理了20次中、小地震,震级范围为3.1~5.5。在这20次地震中有四次地震是不能划出P波节线的,其中有三次地震P波初动以负号为主,一次地震P波初动以正号为主。下面对这几次地震作简略介绍。

1. 1973年5月16日固原4.4级地震。这次地震共记到25个P波初动符号,其中有9个初动符号为负,它们夹杂在正号P波符号之中,因而无法划出节线。很显然这是一次扩张型地震。据地震波资料测定,这次地震的震源深度为35公里。震源的初动分布如图1所示。

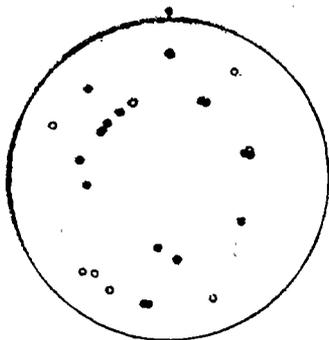


图1. 1973.5.16 固原4.4级地震  
( $36^{\circ}24'106^{\circ}22'$ )

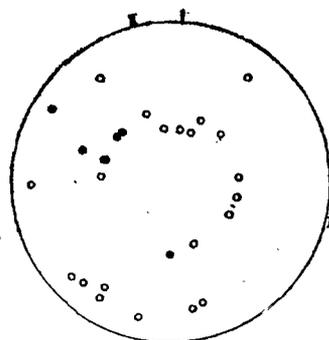


图2. 1974.8.23固原4.1级地震 ( $36^{\circ}24'106^{\circ}19'$ ) (这是一次以负号为主的地震)

2. 1974年8月23日固原4.1级地震。这次地震共记到27个P波初动符号，其中有6个初动为正号，21个初动为负号，无法划出P波节线。该地震P波初动符号在吴尔夫网上的投影如图2所示。据地震波资料测定，这次地震的震源深度为20公里。

3. 1978年6月14日西吉3.9级地震。这次地震共记到P波初动符号24个，其中负号波为20个，4个为正号波。正号波夹杂在负号波之中，无法划出P波节线。其初动在吴尔夫网上的投影如图8所示。这次地震的震源深度为16公里。

4. 1981年8月31日同心3.9级地震。收集到这次地震的P波初动符号共有18个，其中有4个是正号波，14个为负号波。正号波分散在负号波之中，无法划出P波节线，如图4所示。据地震资料确定，这次地震的震源深度为16公里。

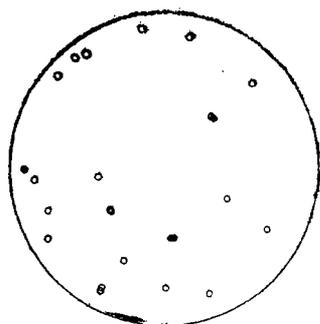


图3. 1978.6.14西吉西南3.9级地震  
( $35^{\circ}52'105^{\circ}38'$ )

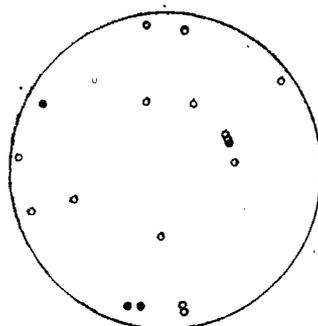


图4. 1981年8月31日同心3.9级地震

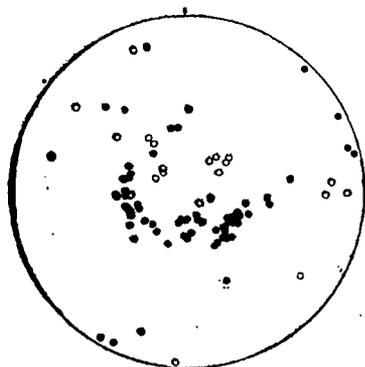


图5. 1963.8.29乌恰6.5级地震

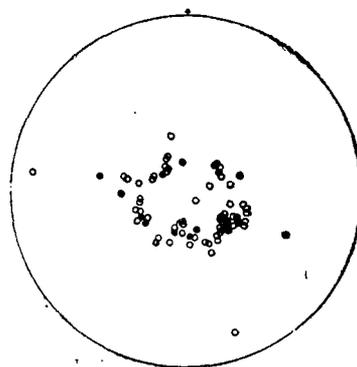


图6. 1966.3.6噶尔6.6级地震

以上这四次地震分别发生在固原、西吉、同心等地附近。据张诚等人<sup>[1]</sup>的研究，该区地壳厚度为50公里。因此上述地震虽然震源深度有差异，但均发生地壳范围内。这种特殊的浅源地震类型在我们西部地区也有出现，如1963年8月29日新疆乌恰地震 ( $M_s=6.5$ ) 和1966年8月6日西藏噶尔地震 ( $M_s=6.6$ ) 也是属于这种类型的地震。前一次地震以正号为主，后一次地震以负号为主，它们的P波初动符号在吴尔夫网上的投影分别如图5和图6所示。这两次地震的震源深度均为50公里左右。根据这两个地区的人工地震探测结果，青藏高原的地壳厚度约70公里，新疆乌恰地区约为60公里左右，显然这两次地震也发生在地壳范围内。

## 二 地壳中扩张型和压缩型地震成因初探

尽管目前我们收集到的扩张型和压缩型地震数量并不多,但这却是确实存在的事实。对于地震预报来说,不同的成因观点强调着不同的地震预报途径。因此进一步探讨本文所列举的这几次地震的直接成因(地震直接发动的形式)以及进而联系其地震的能源问题仍然是十分重要的。因为对于这一部分地震来说,它们在震前所产生的前兆有可能与断层地震完全不同。下面我们分别对压缩型和扩张型地震的成因进行讨论。

1. 压缩型地震 压缩型地震可以由塌陷地震引起,当然也可以由体积的突然收缩(相变)所引起。首先我们讨论一下塌陷型地震。一般认为塌陷地震是地下岩石,例如石灰岩、石膏和岩盐之类被地下水溶解成空洞。随着时间的推移,这种空洞越来越大,于是支撑空洞的顶盖岩层的力量越来越减小。当它再也支撑不住顶盖的重量时,顶盖岩层在自重作用下突然塌陷,造成地震。地震时塌陷体牵拉周围的介质,从而造成以负号波为主的地震P波初动。但上述这种类型的地震一般仅为深度极浅的地震,这种地震一旦发生,往往局部灾害最重,且波及范围较小。本文所列举的几次地震其震源深度可能比上述塌陷地震要深得多,在这样的深度上一般已不存在沉积岩,而属于花岗岩类。显然,这里也不存在溶解岩石形成地下空洞的条件。此外在这样的深度大量地下水的流动几乎是不可能的。根据秦保燕等人提出的层间解缚模式<sup>[2][3]</sup>,在水平力和垂直力的共同作用下,在地壳中的软弱面附近有可能产生层间解缚区。当解缚区上部的岩层再也支撑不了它自重的重量时就发生突然的陷落。对于这类地震有两种情况,一种是震源区岩石强度极高,并储存了很大的剪切形变。地震时震源断层面首先发生平推型剪切错动,当整个断层面错通时,震源体再也支撑不了自身的重量而塌入解缚区,从而形成震时和震后震中区的地面下沉。这种地震其P波初动仍然具有断层地震的特点。但是其震中区的下沉和余震机制等很难用断层地震圆满解释。如果震源区的岩石强度不高,积累的剪切形变很小,当震源底部解缚区一旦形成,则震源区不能支撑其本身重量而突然塌下,并造成负号P波的初动。根据层间解缚模式,解缚区一般位于地壳中部的低阻层附近,我们把它称为地壳中部塌陷地震,其简图如图7所示。

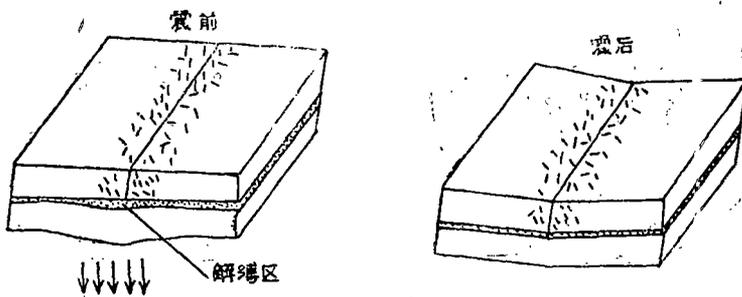


图 7

这种解缚区的形成一般可能需要相当长的时间。它可以由上地幔缓慢的垂直运动所形成,也可以由上地幔的物质相变所引起的体积变化从而造成下地壳隆起、下沉变形所形成。此外地壳中部的异常低阻层也有可能发生突然相变,从而由体积收缩直接引起负号P波的发射,这种可能的存在也不能完全排除。因为在地壳中异常低阻层的电导率和上地幔的电导率几乎是同一数量级<sup>[4]</sup>,而地壳内的低阻层的形成一般认为是岩石的熔融状态造成的,也就是说,这里有可能是高温高压状态。因此可推断地壳中部的异常低阻层也是一种异常不稳定的物质,它易于引起突然的体积变化。但是到目前为止为

止，这种解释毕竟还是一种设想。还必须从这类地震的地震波动力学特征以及对低阻层的深入研究后，才能有进一步的认识。

2. 扩张型地震 扩张型地震相当于一种爆炸源，爆炸时即形成一个扩张中心，并牵动周围介质产生压缩波（对地震台而言）。在地壳范围内产生这种类型的地震可能有两种情况。一种是地壳中有一些高压气体聚集，当高压气体的压力大于围压时，就使围岩突然发生爆炸式的坍塌，并形成地震。在这种情况下，其震源深度不可能很深。因动在很深的深度，围压就非常高，高压气体很难达到并超过围压而发生爆炸。另一种情况就是上述地壳中部的异常低阻层附近的不稳定物质突然发生相变，即发生体积突然增大，从而扰动周围介质发出压缩P波初动。本文的震例中1973年5月16日固原地震和新疆乌恰地震就属于此类。很多文献均认为，直接在地壳中的花岗岩层和玄武岩层中进行快速相变是不可能的。因此，如果上述两次地震确实是由于相变而引起的话，只有在地壳中部异常低阻层附近存在着相变的可能条件。但这仅仅是一种设想，是否还有别的机制，是值得进一步探讨的。

### 三 结 束 语

本文对扩张型和压缩型地震成因的讨论显然是很初步的，有很多工作尚待进一步去完成。例如这几次地震P波和S波的动力学特征及它们与断层地震的差异，这几次地震的前兆特征以及这几次地震与周围地震的关系等。此外，更进一步深入研究地壳中部和浅部的异常低阻层的物质以及是否能形成相变的条件也是十分重要的。

### 参 考 文 献

- 〔1〕张诚等 甘肃及邻近地区的地壳厚度  
西北地震学报 1979 第1卷 第2期
- 〔2〕秦保燕、郭增建 由地震时震中区的显著下沉讨论震源的底部条件  
西北地震学报 1979 第1卷 第1期
- 〔8〕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 1982 Vol.4, No.3
- 〔4〕国家地震局兰州地震研究所大地电磁测深组 我国南北地震带北段地壳和上地幔的电性特征  
地球物理学报 1976年 第1期