可控震源系统—地震予报研究中 一项有前景的新技术

冯德益

(国家地震局兰州地家研究所)

È

前

10: 7 - - -

目前, 地震波方法正在地震予报实践中不断发展与提高。主要有两个探索方向: 一是探 索较大地震前震源孕育地区介质性质的变化, 以期寻找地震波特性(波速、振幅、频谱等) 的中短期前兆异常指标, 这种方法国外有人称为"震源区的地震透视法", 二是探索较大地 度的深部孕震构造特征, 以便划出地震危险地段并作出中长期地震予报, 这就是一般的深部 地震探测法或地震测深法。除直接作为地震予报手段之外, 地震波方法在上述两个方向上的 研究结果还可为各种地震成因学说及震源孕育模式提供一定的验证资料, 而震源理论的发展 又将大大促进地震予报问题的解决。

地震波方法的一个首要问题就是波的激发,也就是波源的问题。现在地震予报研究工作 中多数情况下是直接利用小地震作为波源,其次患利用人工爆破源。随着研究工作的深入, 面对着难度很大的地震予报课题,这两种波源都遇到了一些客观上的困难。天然地震源的主 要缺点是:震源位置不易定准,精度较差,在时空分布上较为杂乱,不能人为控制,往往在 初步划定的地震危险区内,在震情急迫的关键时刻没有可利用的小地震发生。爆破源的主要 缺点是:工作效率很低,价格昂贵,破坏岩石,难于进行同一条件下的重复观测,振动波形 无法控制等。

汤多年来,由于考虑到安全、精度、效率、成本等多方面的因素,在地震勘探工作中人们 **计查在探索各种非炸药震源。于是,一种效率高、**精度高、自动化水平高、经济上节省的非 炸药震源——可控震源就应运而生了。这种可控震源在地震勘探中早已广泛使用,近年来国 **外也开始用于地震予报研究工作。我们认为,把可**控震源引用到地震予报工作中是有前景 的。本文首先介绍可控震源的发展现状,然后提出一些初步设想与看法。

一, 可控震源概述

可控震源是一种连续振动系统,最早于1950年在美国出现,1957年第一次用于生产, 1961年后作为通用勘探工具,并在六十年代很快得到了发展。美国、西欧、非洲、澳、新和 中东地区均已广泛使用。十几年来,可控震源在各方面都已有显著的改进,目前正处于蓬勃 发展阶段。我国石油勘探部门等也正在推广这一先进技术。

可控震源的主要技术特点是:(一)它产生的不是脉冲震源,而是一个长时间的、频率 不断变化的正弦振动(称为"扫描"),效率高,能量可充分利用;(二)这种延续振动的 频率、频率变化率、延续时间和振幅等都是可以人为给定的(可控制的),抗干挠能力强, 可大大提高信噪比;(三)装置本身是电子——液压——机械的精密遥控伺服系统,并与相 应的接收和具有相关处理的仪器系统完整配套,高度自动化,操作简易,仪器稳定,不破坏 岩石。可控震源按目前的水平,探测深度已超过40公里。除用于石油勘探外,目前国外已开 始用来观测地震前的波速异常及进行深部地震测深。

可控震源系统一般由数台震源车(至少三台)和一台仪器车进行工作。震源车选用高性 能越野车辆,车中振动器部分的大体结构如图1所示。



可控震源分超重型、重型、中型、轻型几种。例如,振动系统的冲力为16.3吨的属超重 型,13.5吨的属重型,7.5吨的属中型,4吨的属轻型。为达到足够的勘探深度,地震 予报 工作中应该引进重型或超重型可控震源。 可控震源系统的大致工作情况如下。由数控仪器车发出遥控工作讯号,震源车本身有电 子计算部件用以根据不同勘探对象、不同地区条件来选择产生不同长度,不同频率、不同频 率变化率和不同幅度的扫频讯号。这样的电讯号送至一个三级电液伺服阀即可控制液压振动 缸内的活塞作相应的振动。由于活塞的连杆直接与震动车底板作刚性连接,因此,整个重锤 反冲体连同底板都在作同步的振动。工作中一般都以车尾部升起用车体作静载荷来使底板与 地紧密耦合,故能使振动直接传至地下。为了保证输入电讯号和液压振动讯号的严格同步, 在振动器上还装有加速度传感器,以此反馈与原始电讯号进行比较,并自动调整输入讯号的 相位,以保证系统的机、电部分相位的一致性。

可控震源产生的是一个长时间的,频度不断改变的正弦振动,称为扫描。扫描的起始和

终了频率以及振动的延续时间是可以控制和改变的,扫描讯号可以是升频,也可以是降频讯号。这样得出的实际记录只有通过与扫频讯号(或称参考子波)进行自相关或互相关处理(脉冲压缩)才能形成通常的地震记录。图2 上给出反射波法的相关原理图。在相关记录上表示一个波到达的时间是相关子波的最大值, 而不是它的初至。使用相关分析方法对不同震相的到时有较高的分辨能力,而且很容易作频 谱分析。仪器车本身具有实时叠加和相关的能力,勘探结果由车上的专用计算机快速给出。 扫描时间在理论上可以任意长,实际上约为7 -32秒,因此,一次实际记录长度T₂应等于扫描讯号长 T₅加上勘探的最大反射(或折射)时间T_M,即T₂=T₅+T_M。

关于可控震源的详细情况可参看资料 (1) 及文集⁽⁸⁾。



1.扫描讯号(大地运动);
2.第一层反射;
3.第二层反射;
4.第三层反射;
5.野外记录道;
6.经相关处理后的记录。

二、可控震源在国外的应用实例

国外把可控震源系统称为"Vibroseis system",已在很多方面广泛应用。这里仅举出与解决地震予报问题有关的两个具体应用实例。

1.加利福尼亚中部的地壳测深[8]

Nº PAR

在加利福尼亚圣安德烈斯断层的地震活动区内进行了测深工作。使用反射波法,研究了 莫霍界面的起伏(深度约25公里左右),分划出了断层两侧地壳内的速度块体结构。北东块 体具有较低的平均速度,并有一个与震源深度展布范围相对应的低波速层,且地壳与地幔间 有明显的分界面。南西块体(断层的另一侧)的平均速度较高,低速层不太显著,地壳到地



幔和出对随布以测近层内的。测应深。看线,两的。测应深。看线,两的逻辑的度图,相因,两的变化。我们没有的。 我们的这个人的变形。 我们的一个人,我们的一个人。

差异较大。断层两侧的平均地壳速度也有显著的差别:北东侧为5.4公里/秒,南西侧为6.4 公里/秒。

这项工作是在1974年底完成的,仅用了两周的时间。使用的可控震源为 VSH-11型, 最大冲力 7 吨,辐射频率区间为 4 - 24赫,扫描时间16秒,每一个测点激发50次,共用 4 台 可控震源。震源到接收点间的距离不超过9.3公里。检波器按36个组合,组间距离为100米, 激发点间的距离为200米。头处理了99个测点的资料,用数字地震仪记录。

2.美国大陆反射测深财团的测深工作[2]

美国大陆反射测深财团(COCORP)是在1973年为了研究地壳下部和上地幔而组成的, 主要开展反射波法测深工作。使用低频可控震源,扫描时间为20秒。检波器埋在地下几英寸 的土壤中。5台可控震源同时工作,1500多个检波器排在约5公里长的测线上。扫描结束后 继续记录15秒左右。这一财团可探测到地下45公里以上的深度。一条测线上可观测两千五百 万个反射点。已经得出了几条测线上的结果。第一条测线在得克萨斯北部,接收到了45公里 深处的反射讯号。研究者们认为,得克萨斯的深层反射模型表明有来自上池幔的岩浆存在, 且地壳呈现褶皱。第二条测线选在新墨西哥索科罗附近的里约格兰德断裂内。同样得出了很 多深层反射波,但其中最强的一个波系来自予先猜测的一个岩浆穴,此外,还得到了某霍界 面反射波,并研究了该界面的特性。该地区地下18-20公里深处存在着鉴穴的推测首先是根 据小震观测结果作出的。用可控震源取得的资料能更细致的研究此岩浆穴并勾画出其边缘。

三、漫谈可控震源用于地震予报的前景

据我们看来,为了解决地震予报问题,进一步深入研究地震波方法是必要的;而可控震 源的引用,无疑会有利于地震波方法的发展。

可控震源除前面已提到的若干特点(效率高、精度高、自动化水平高等)外,,对探索地 震予报问题来说,还具有以下优点:(1)可以达到足够的勘探深度,(2)震源的波形与 持续时间可以按地震予报工作的具体要求加以控制,便于开展多方面船研究工作,如波速、 波谱,振动持续时间,…等的前兆异常变化);(3)有较好的重复性,可在同一个地方、 按同等条件进行定期或不定期重复观测,以便监视地震波各种特性随时间的变化,(4)能 迅速在短时间内进行多次观测并立即得出成果,便于监视地震波前兆现象的短临异常,(5) 运载方便,越野能力强,激发条件简单,便于在大范围地区及各种复杂的地形和地质条件下 (包括大城市、大厂矿地区、交通不便的偏僻山区……等)进行震情普查与监视工作,同时 还可以在大震发生后迅速进入现场对震源区进行深部探测工作并监视强余震。

从现有的初步理论研究与实际观测结果看来,在地震予报工作中引进可控震源后,可以 开展下面三个方向的研究工作:

1.她震波特性的前兆变化的研究

目前研究得最多的是波速(波速比)异常。虽然对波速前兆现象是否存在还有不少争议,但 毕竟世界各地已观测到不少地震前波速(波速比)异常的实际震例,有的还在震前作过予报。可控震源的应用将大大促进波速异常研究工作的深入与发展,主要理由如下:

第一、天然地震资料精度不高是波速研究中的一个主要问题,可控震源的引入将大大提高观测精度;

第二、初步研究结果表明, 波速异常区的范围足够大, 5级以上较大地震前, 异常区长

轴方向可接近或超过100公里,这就使得用可控震源作大面积震情监视有可能取得结果;

第三、据利用天然地震和爆破所得的初步研究结果,不管震源深度如何,震前波速异常 区都基本上处于大约从0.5-5公里到20-30公里深的地壳上部范围内,至少延展到地壳上 部,而可控震源按目前的水平就已能达到这样的勘探深度,

第四、波速异常具有长、中、短期的阶段特点,有一定的异常形态与进程,要求适时观测监视,特别是短期或临震异常(目前已根据爆破及天然地震资料得出了一些实例),对实现地震予报尤为重要,但往往利用天然地震或爆破都难以及时变现,引入可控震源后,就有可能及时监视短期或临霞异常,

第五、初步实验与观测结果表明,波速异常具有方向性效应,异常区内部速度变化不均 匀,异常区按一定方式扩展与恢复,用天然地震只能作粗略的定性分析,不易进行 深入研 究,引进可控震源后,便可对孕震区的各方面特性作深入细致的研究。

除波速或波速比外,还可以探索地震波其他特性(如波谱、振幅、衰减率,振动持续时 间……等)在地震前的相应变化;用天然地震已得出一些初步结果,引入可控震源后就更有 广阔的前景。

2.发展构造的研究与震源孕育模式的检验

据地震地质方面的研究结果,较大地震一般都发生在某些特殊构造部位(发震构造) 上。利用地震测深法或大地电磁测深法等,可以探索、研究地壳内地震孕育的深部构造特性 (或孕震环境与条件),为划分地震危险地段提出更充分的依据。可控震源的引入,将使地 震测深法得到推广、发展与改进。

目前国内外已提出好几种震源孕育模式,如努尔等的扩容——进水模式,米雅奇金等的 裂隙串通模式,布雷迪的微裂丛区模式,郭增建等的组合模式,牛志仁等的膨胀蠕动模式… …等等。不同震源孕育模式从理论上推断出的地震波前兆异常特性(如波速异常分布特性) 有所不同。因此,直接对震源孕育地区进行地震勘探有助于对不同孕震模式作出一定的检 验。可控震源的应用可为这方面的研究工作带来一定的前景。

3.强震震源区特性的研究

No. And Alaka

强震发生后,可控震源可立即投入现场观测。研究强震震源区的大致范围、介质特性及 其随时间的变化等,对于探索地震机制,震源区介质性质以及予报强余震等都有较大的实际 意义。

以上是我们对于在地震予报工作中引进可控震源所作的一些初步调研、分析与设想。具 体结果有待这项技术引入并进行试验后再作讨论。

参考文献

(1)物探局研究所凝源室,可控震源的原理及工作方法,石油地球物理勘探, 1977年第4期
(2) Richard A. Kerr, Seismic Reflection Profiling: A New Look at the Deep Crust, Science, V199, N4329, 1978.

(3) Проблемы вибрационного просвечивания земли, М., «Hayka», 1977.

nter en la sector de la construcción La construcción de la construcción d La construcción de la construcción d