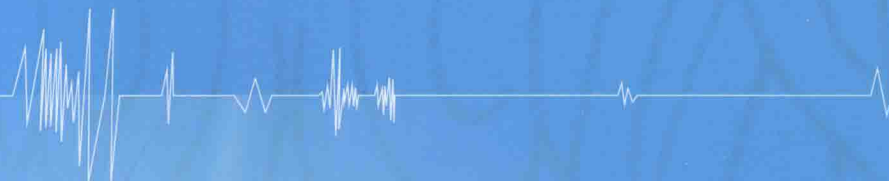


地震转换波测深

邵学钟 张家茹 范会吉 著



地震出版社

地震转换波测深

邵学钟 张家茹 范会吉 著

地震出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

地震转换波测深/邵学钟, 张家茹, 范会吉著. —北京: 地震出版社, 2013. 12

ISBN 978-7-5028-4325-0

I. 地… II. ①邵… ②张… ③范… III. ①转换波 (地震) —地震勘探
IV. ①P315.3 ②P631.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 169709 号

地震版 XM3051

地震转换波测深

邵学钟 张家茹 范会吉 著

责任编辑: 王秋月

责任校对: 孔景宽

出版发行: 地震出版社

北京民族学院南路 9 号

邮编: 100081

发行部: 68423031 68467993

传真: 88421706

门市部: 68467991

传真: 68467991

总编室: 68462709 68423029

传真: 68455221

编辑室: 68467982 68721991

[http: //www. dzpress. com. cn](http://www.dzpress.com.cn)

经销: 全国各地新华书店

印刷: 北京地大天成印务有限公司

版 (印) 次: 2013 年 12 月第一版 2013 年 12 月第一次印刷

开本: 787×1092 1/16

字数: 399 千字

印张: 16

书号: ISBN 978-7-5028-4325-0/P (5014)

定价: 50.00 元

版权所有 翻印必究

(图书出现印装问题, 本社负责调换)

前 言

地壳、上地幔深部构造的探测和研究是当前地学发展的生长点，它对于矿产资源的勘察，地震、火山等地质灾害的预测以及地质科学本身的发展都具有十分重要的理论和实际意义。各种地球物理探测手段虽然都是间接的探测方法，但由于其综合的探测能力和巨大的探测深度，仍然是目前勘察和认识地球内部结构和构造的主要方法，其中以地震波方法最为重要。

20 世纪初，构造地震学的发展主要建立在天然地震波基础上，利用天然地震波的巨大能量和强大的穿透地球的能力，测定了地球内部的速度分层结构（Mohorovicic, A., 1909; Gutenberg, B., 1929; Jeffreys, H., and Bullen, K. E. 1935），随着石油工业的兴起，以爆炸和机械振动为振源的地震勘探技术获得飞速发展，将地震勘探中的方法技术推广应用到地壳构造的研究中去，出现了深地震测深法（Ганбурцев Г. А., 1954）和地震反射剖面法（Oliver, J. 1987），进一步推动了构造地震学的发展，使可控源测深法成为近几十年来最重要的深部探测手段，但随着地壳上地幔深部探测工作量的增大，任务的复杂化和探测深度的加大，上述测深方法也显示出其局限性，主要表现在价格昂贵，振源能量（探测深度）有限和通常只使用单一的波类型（主要是 P 波）。然而，在另一方面，随着计算机技术的飞速发展，数字地震学正在兴起，研制出了体积小，轻便，频带宽和动态范围大的数字地震仪，能在短期内以地震台阵方式收集丰富的天然地震资料，并能在短期内及时进行处理，使天然地震测深法的一些固有优点，如价格低廉，波的类型丰富，重复次数多，振源能量大，探测深度大等优点得以充分发挥，天然地震测深法在构造地震学研究中的重要性正在日趋提高。美国于 1984 年制订并成功地执行了大陆岩石圈地震台阵研究的十年计划（PASSCAL 计划），用多达 1000 台小型轻便数字地震仪组成的台阵，对大陆岩石圈进行高分辨的地震研究，正是这种发展趋势的体现。目前利用面波和体波的层析成像等各种新的测深法在不断涌现，以接收和利用深源远震为基础的地震转换波测深法（简称地震转换波测深或转换波法）以及远震接收函数法也是在这种形势下发展起来的。

地震转换波测深法最早由前苏联学者安德列也夫提出（С. С. Андреев, 1957），几十年来转换波测深工作从未间断过，已完成的测线总长已超过 40000km，甚至超过人工地震测深法测线的总长，是岩石圈深部综合探测中最重要的手段之一。在美国转换波测深试验工作开始于 20 世纪 60 年代（J. J. Schwind, 1960），目前仍是研究岩石圈结构和构造的重要方法之一。在我国转换波测深工作始于 20 世纪 70 年代（邵学钟等，1978），几十年来在我国华北、华南和西部的西藏、新疆等地开展了大量转换波测深的试验研究和深部探测工作，已完成的测线总长达 8000 多公里，是我国地壳、上地幔深部构造探测的重要手段之一。

在各国地震转换波测深工作中中长期制约方法进一步深入发展的关键问题有两个：第一个是用转换波资料如何求取介质中 P 波和 S 波速度的方法问题，一直没有得到合理的解决，第二个是 PS 波的相互干涉以及它与干扰波的相互干涉如何合理分离的问题。第一个问题不仅影响转换波方法的精度，而且使转换波法不能成为真正独立的探测手段。第二个问题不仅影响方法的精度，也影响方法的分辨率。我们在长期的研究工作中，经不断努力较为合理地解决了上述两个难题，使转换波测深法提高到一个新的水平，使转换波法的精度和分辨率以及探测结构和构造的能力得到了很大程度的提高，使转换波法成为真正独立的深部探测手段，本书将重点介绍这些方面的内容。

在我国转换波测深剖面工作虽然完成不少，但真正进行这方面实际工作的人员并不多，其中重要原因之一是对具体方法知识的普及不够，对方法的一些新的进展介绍不够，使很多人对方法的具体内容不甚了解，甚至对方法还存在一些误解，因此本书目的之一是要普及转换波法的具体方法知识，介绍它的最新成果，吸引更多深部探测爱好者参加这一工作。

本书共分十三章，第一章介绍转换波法的总体概况，包括方法的物理基础、可行性、方法的特点、能得出的主要结果以及方法的用途。第二章和第三章介绍方法的理论基础，包括 PS 波的运动学和某些动力学特征，它们对转换波的野外观测、震相识别、资料的分析处理和解释以及介质速度参数测定和界面做图都有重要的指导意义。第四章介绍转换波的野外观测方法，它具体介绍野外观测应使用的仪器设备、测线布置和转换波接收的方法以及野外接收条件的合理选择等。第五章介绍 PS 转换波与各种干扰波的识别标志。根据第二、三章的内容可确立 PS 转换波的识别标志，同时在对各种干扰波的理论计算和分析的基础上确立了对各种干扰波的识别标志。第六章介绍 PS 转换波的震相识别和对比追踪。主要采用转轴变换求得 P 波射线坐标系内的 R、T、P 三个特征分量、记录的全方位偏振分析和分离干涉波处理等，将各个 PS 波和干扰波都分离开，并测定它们的到时差、增幅比和偏振方向，并在此基础上实现 PS 波震相和到时差沿测线的对比追踪。这是转换波法的一大特点，能在很大程度上提高方法的精度和可靠性。第七章介绍实测的 P 波和 PS 波特征。一方面，这些特征与理论计算结果对比的一致性表明理论计算的准确性，另一方面，反过来这些实际资料对转换波的观测接收和资料的分析处理工作又有重要的指导意义。第八章介绍介质速度参数的测定方法。利用 PS 转换波走时资料测定介质速度参数一直是个难题，因为 PS 波到时差随震中距变化缓慢，用到时差资料测定速度的结果不稳定，误差大。我们经过多年的研究和实践，提出了利用 P 波射线平面内垂直分量（P）和径向分量（R）记录初始 20s 内的全部信息，通过波形反演方法求得台站下方地壳、上地幔的 P、S 波速度结构，论证了方法的有效性，使转换波法的探测精度和详细度得到进一步提高，使转换波法发展成为一个真正独立的深部探测手段。第九章介绍转换界面的做图方法。利用获得的介质速度资料、PS 波到时差资料和相应的震中资料根据第二章中相应公式就可求得转换点的空间分布，并得出深部构造剖面图和平面图。转换波法得出的剖面图内容较为丰富，既有界面构造又有断层分布，既有 P 波速度又有 S 波速度，既有高速体的分布又有低速体的分布。第十章介绍转换波法在我国华北地震活动区的试验、研究和应用以及在华北五个大震区地壳深部构造的探测结果，结果表明：在各大震区存在一些共有的特殊的深部结构和构造特征，表明大震区存在强烈的深部地壳运动和地幔物质的底侵作

用, 这些深部构造特征标志为在华北地区如何寻找大震潜在震源区指出了明确方向。第十一章介绍利用 PS 转换波监测介质动态变化可能性的试验, 试验表明, 地震转换波的监测精度较高, 适合用于监测介质的动态变化。此方法的优点还在于能够直接监测特定的小范围介质内的动态变化, 因而可直接用于地震孕震体和火山岩浆体动态变化的监测, 有望成为地震和火山监测预报的得力手段。第十二章和第十三章介绍转换波法在生产实践中的应用。我们将转换波法在生产实践中进行大量应用, 完成测深剖面达 5000km, 接受生产部门的严格审查和鉴定, 并且得到生产部门的认可, 一方面为生产部门解决了实际问题, 同时也进一步提高了方法本身的水平。

本书最后将地震转换波测深法与目前广泛流行的远震接收函数法进行了比较, 对比表明, 两种方法都属于同样的转换波测深法, 它们的方法原理和物理基础没有根本区别, 只是后者是将入射 P 波转换成脉冲形 P 波情形下的转换波法, 仅此而已。两种转换波法各有其优点和局限, 可以配合起来使用, 使其发展成为一种综合性的转换波探测手段, 既能探测地壳又能探测上地幔, 既能探测介质的构造和断裂又能探测介质的 P 波、S 波速度结构, 价格低廉又环保的真正独立的深部探测手段。

本书是集体努力和智慧的结晶。地震转换波测深法在我国的存在与发展, 首先得益于历届中国地震局领导及其下属的中国地震局地质研究所领导的大力提倡和支持, 在人力、物力和经费上给予长期持久的保证, 使地质所的转换波测深工作能持久地深入发展, 这一工作的深入发展当然离不开地质所研究生们持久不断的努力, 正是他们的刻苦钻研和取得的卓越成就使转换波法的分析解释工作上升到一个新的、创新性的水平, 他们是杨清源、刘启源、吴荣辉、范会吉、雷兴林、徐朝繁和姚陈等。我所转换波测深工作的成就自然离不开转换波组全体野外观测人员的辛勤劳动, 取得了一批批宝贵的第一手野外资料, 使转换波测深不断取得新的探测成果, 参加转换波野外观测工作的还有其他一些单位的工作人员, 另外还有国外哈萨克斯坦和吉尔吉斯斯坦地震队的一些工作人员, 他们都为我们取得转换波资料付出过辛劳。最后, 本书的出版在经费上得到地质所徐锡伟副所长的热情资助。借此机会对以上各单位、团体和个人所做的贡献和给予的帮助一并表示衷心的感谢。

限于作者的水平, 书中的缺点和错误在所难免, 还请广大读者批评指正。

目 录

第一章 地震转换波测深法的物理基础和得出的主要结果	(1)
一、何谓地震转换波测深法	(1)
二、方法的运动学基础	(1)
三、方法的动力学基础	(2)
四、方法的地质基础	(4)
五、实测 PS 转换波的可行性	(5)
六、转换波测深法能得出的主要结果	(5)
七、地震转换波测深法的特点	(12)
八、地震转换波测深法的用途	(12)
第二章 PS 波运动学特征	(18)
一、水平层状介质中 PS 波的时差方程	(18)
二、倾斜转换界面时 PS 波到时差方程	(22)
三、某些 PS 型干扰波的走时方程	(27)
四、 Δt_{PS} 与介质参数和结构的关系	(30)
第三章 PS 转换波某些动力学特征	(32)
一、影响 PS 转换波振幅的主要因素	(32)
二、转换系数 ($K_{P_2S_1}$) 与介质速度参数和 P 波入射角的关系	(35)
三、PS 波的相对振幅特征	(39)
四、薄层介质中 PS 波的振幅特征	(43)
五、PS 波的波形特征	(47)
六、PS 波的偏振特征	(50)
第四章 PS 波野外观测方法	(55)
一、PS 波野外观测工作的特点	(55)
二、野外观测方案	(55)
三、仪器准备	(58)
四、野外工作	(58)
五、PS 波的野外接收条件	(59)

第五章 PS 转换波与各种干扰波的识别标志	(62)
一、远震初至 P 波的识别和分类	(62)
二、PS 波的识别标志	(64)
三、水平分量上可能出现的各种干扰波及其识别标志	(65)
第六章 PS 波的震相识别和对比追踪	(73)
一、远震 P 波的选择	(73)
二、资料的预处理	(73)
三、全方位偏振分析处理	(79)
四、沿测线 PS 转换波记录的对比追踪	(82)
五、分离干涉波处理	(87)
六、PS 波到时差对比图实例	(92)
第七章 实测 P 波和 PS 波特征	(95)
一、所选用的远震的某些特征	(95)
二、选用 P 波的某些特征	(97)
三、PS 转换波特征	(100)
第八章 介质速度参数的测定	(112)
一、全波反演的的方法理论	(112)
二、波形反演方法在新疆天山地区的应用	(117)
三、波形反演法在新疆准噶尔盆地的应用	(120)
四、系数 K 的确定	(123)
五、利用二次反射波震相测定介质速度结构	(124)
第九章 转换界面做图	(125)
一、测定转换点空间位置的计算公式	(125)
二、做深部构造剖面图和平面图	(127)
三、倾斜转换界面的做图法	(129)
四、分出构造断裂带的判据	(133)
五、转换界面的精度估计	(133)
六、PS 波测深法的探测深度和分辨率	(135)
第十章 转换波法在我国的试验、研究及其在华北地震活动区的应用	(138)
一、华北京津唐地区地震转换波测深研究	(139)
二、华北某些大震区地壳深部构造的地震转换波测深结果	(145)

第十一章 利用地震转换波监测地壳介质动态变化试验	(159)
一、利用数字地震台转换波资料进行分析	(159)
二、分析松潘地震前后的转换波资料	(175)
三、关于正确实现地震预测预报的一些想法	(177)
第十二章 地震转换波法在生产实践中的某些应用	(180)
一、广东大亚湾核电站周围地区地壳结构稳定性的探测	(180)
二、青藏高原北部雁石坪-格尔木地震转换波测深剖面	(183)
三、西藏高原羊易地热田深部构造的近震转换波探测	(184)
四、天山造山带地壳结构的地震转换波探测	(194)
第十三章 大型油气盆地地壳深部构造的地震转换波探测	(202)
一、地震转换波法探测塔里木盆地的岩石圈结构	(202)
二、地震转换波法探测准噶尔盆地地壳结构和构造	(216)
三、地震转换波测深法与远震接收函数法的比较	(234)
结 论	(238)
参考文献	(240)

第一章 地震转换波测深法的物理基础和得出的主要结果

一、何谓地震转换波测深法

地震转换波测深法就是利用天然地震的远震作为振源，在地表用三分量地震仪布置一系列测线或地震台阵，观测并记录远震初至 P 波以及由它在穿越地壳上地幔各地震界面时产生的 PS 型透射转换波。利用远震记录的初始 30 秒部分，通过波形弥合法可测定各测点下面介质中的波速结构，再利用来自各界面的 PS 转换波与初至 P 波的到时差和介质的速度参数就可测定各测点下各转换界面的埋深，从而可得出沿测线或台阵下面地壳上地幔顶部的速度分布特征以及各深部转换界面的构造特征。数字地震仪和计算机分析处理技术的发展为转换波测深法的开展提供了强大的物质基础。

二、方法的运动学基础

与地震学和地震勘探中常用的 PS 或 SP 型反射转换波不同，在地震转换波测深方法中利用的是 PS 型或 SP 型透射转换波，其中以 PS 型透射转换波的利用最为普遍。它们是由远震或深源近震的 P 波在传播过程中透射过地幔和地壳中一系列速度界面时发生波型转换而产生的。PS 转换波的运动学和动力学特征与地壳上地幔结构，特别是与转换界面的性质密切相关。

图 1-1 表示了地震转换波测深的方法原理。设介质中存在某些速度界面，界面上波速有跳跃式变化或变化甚快，P 波从界面下侧入射，P 波透过界面时产生的 PP 型透射波（即初至 P 波）和 PS 透射转换波都将先后到达地表。若我们在地表某测点设立三分量地震仪进行观测，则可同时记录到初至 P 波和由 P 波在穿越界面时激发的 PS 透射转换波，对于远震，初至 P 波的人射角较小，P 波主要在垂直分量上被记录下来，而 PS 转换波作为一种横波主要在水平分量上被记录下来。由于 PS 转换波透过转换界面后以 S 波的形式传播，其传播速度低于 P 波，故 PS 波总是迟后于 P 波到达观测台站，PS 波迟后于原生 P 波的到时差（ $\Delta t_{PS} = t_{PS} - t_P$ ）与转换界面的埋深 h 成正比，即界面越深， Δt_{PS} 也越大，此外，它也与介质中 V_P 和 V_S 速度参数以及 P 波在转换界面上的入射角 i_P （或震源位置）有关：

$$\Delta t_{PS} = f(h, V_P, V_S, i_P) \quad (1.1)$$

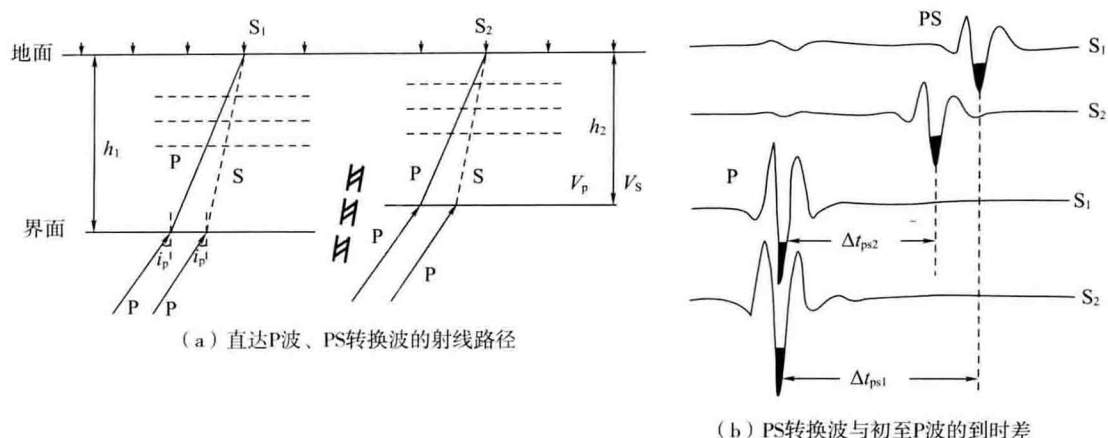


图 1-1 地震转换波测深方法原理

如果选用一组远震三分量记录, 根据波的运动学和动力学特征识别来自转换界面的 PS 转换波, 并测定 PS 波与初至 P 波的到时差, 原则上就能够利用三分量记录反演介质的速度参数, 并利用式 (1.1) 测定转换界面的埋深。同理, 对于多层介质, 当 P 波透过各速度界面时都能产生各自的 PS 转换波, 只要能在记录上识别来自不同转换界面的 PS 转换波, 测出它们相对于初至 P 波的到时差 (Δt_{PS1} , Δt_{PS2} , $\cdots$, Δt_{PSn}), 在已知某些介质速度参数的条件下, 我们就能测定各转换界面的深度。若沿一定方向的测线布置一系列三分量地震仪, 用上述方法测得各观测台站下各转换界面的埋深和速度结构, 对比追踪各测点的转换界面, 从而可得出沿测线的深部构造剖面图。

三、方法的动力学基础

转换波测深法的关键是: PS 转换波是否有足够能量, 能否在水平分量上可靠地分出来自各转换界面的 PS 转换波, 这主要取决于 PS 波在记录上的信噪比。

来自地壳和上地幔各转换界面的 PS 转换波与初至 P 波的到时差通常为 8~10 s, 从波传播的运动学角度来考虑, 在远震初至 8~10 s 左右的水平向记录中有可能存在下列震相 (图 1-2):

- (1) 来自地壳和上地幔各转换界面的 PS 透射转换波 (图 1-2 中射线 1);
- (2) 自下而上穿越地壳和上地幔界面时产生的多次透射转换波 (图 1-2 中射线 2);
- (3) 地表和地壳内强界面之间的多次反射转换波 (图 1-2 中射线 3);
- (4) 结晶地壳内强界面之间的多次反射转换波 (图 1-2 中射线 4);
- (5) P 波水平分量 (图 1-2 中射线 5);
- (6) 各类面波 (图 1-2 中射线 6);
- (7) 来自断层面的侧向反射波和绕射波 (图 1-2 中射线 7) 等。

然而, 从波的动力学特征来考虑, 不是上述所有震相都能在记录上看到, 比 PS 转换波弱 5~10 倍的弱波震相通常不会干扰转换波的正确识别和分出。

从后面第三章中 PS 波动力学特征分析可知: 对于远震初始部分 PS 转换波和多次反射波

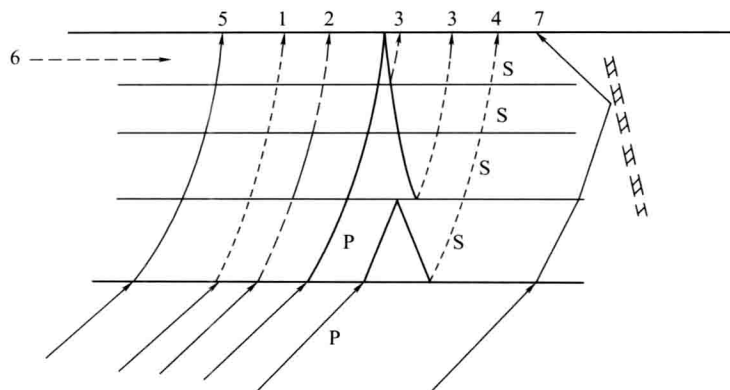
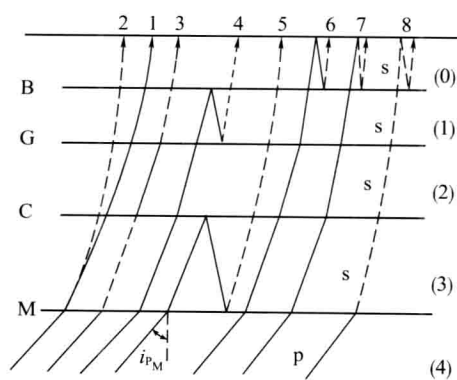


图 1-2 远震水平向记录开始部分可能出现的震相剖面图

1. 来自地壳上地幔的 PS 转换波；2. 多次折射转换波；3. 地表与地壳中强界面之间的多次反射转换波；
4. 结晶地壳内部的多次反射转换波；5. P 波水平分量；6. 面波；7. 断层上产生的侧向反射波和绕射波

振幅的理论计算结果 (M. K. Полшков, 1972; Померанцева, 1977) 以及理论地震图的计算结果 (邵学钟等, 1985; 1989; 1993) 都表明, PS 转换波的振幅通常是初至 P 波振幅的 0.1~0.8 倍, 而对于沉积盖层内和结晶地壳内的多次透射转换波和多次反射转换波的理论计算表明, 在考虑介质吸收的情况下, 在远震记录的初始 8~10 s 之内, 它们的振幅一般比一次 PS 转换波弱 8~10 倍或更弱, 因此它们不会妨碍 PS 转换波的识别和分出 (图 1-3)。



(a) 来自莫霍面的 PS 一次透射转换波和各类多次波的射线路径

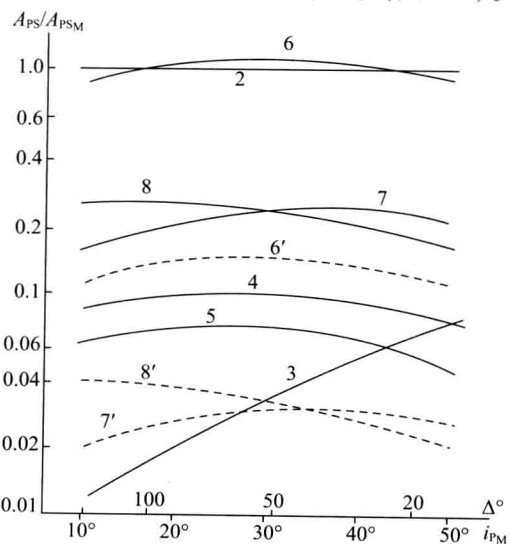
(b) 各类多次波的振幅与来自莫霍面转换波的振幅比 (A_{PS}/A_{PSM}) 及其与莫霍面上 P 波入射角 (i_{PM}) 之关系

图 1-3 PS 转换波和各类多次波振幅与震中距 (入射角) 关系 (邵学钟等, 1986)

计算中选用华北地区平均地壳模型, 各层的厚度 h , V_P 和 V_S 分别为: $h_1=5\text{km}$, $V_{P_1}=3.1\text{km/s}$, $V_{S_1}=1.4\text{km/s}$;

$h_2=5\text{km}$, $V_{P_2}=6\text{km/s}$, $V_{S_2}=3.6\text{km/s}$; $h_3=8\text{km}$, $V_{P_3}=6.5\text{km/s}$, $V_{S_3}=3.9\text{km/s}$; $h_4=15\text{km}$, $V_{P_4}=7.0\text{km/s}$,

$V_{S_4}=4.2\text{km/s}$; $V_{P_5}=8.0\text{km/s}$, $V_{S_5}=4.8\text{km/s}$; 各层中 P 波和 S 波的吸收系数都相同。a、b 图上的射线编号相同;

1. P 波; 2. M 面的 PS 波; 3. 多次透射转换波; 4、5. 壳内多次反射波; 6、7、8 是沉积盖层内的多次反射波;

6'、7'、8' 是当考虑介质吸收时, 沉积层多次反射波的振幅比曲线

通常面波的频率很低,在短周期地震仪记录的远震记录中面波分量很弱,在地势相对平缓地区,在远震初始部分一般不出现面波,不会对 PS 波产生干扰。

在有沉积盖层复盖地区,远震 P 波在地面的入射角很小,其水平分量很弱,在山区或在某些特定条件下, P 波水平分量或侧面波的水平分量有可能很强,但它们的偏振特征通常与 PS 转换波有根本差别,通过三分量记录的转轴处理可有效地压制其干扰。在断裂带地区会产生一些较强的侧面波干扰,但它们的偏振、振幅和同相轴等特征与 PS 转换波有很大差别,不难识别,且断裂带构造复杂、破碎,造成断层侧面波的多变、对比中断、甚至消失,因此识别它们也可用于分出断裂带。

总之,对 PS 转换波信噪比的理论研究表明,只要合理地选择远震记录,并对记录进行必要的处理,在远震初始 8~10 s 左右的水平分量记录中,虽然波形复杂,但其中优势震相是来自地壳上地幔界面的一次 PS 转换波震相,其他二次波等各种干扰波是相对很微弱的,是次要的,因而远震初始的水平分量记录可大胆用于转换波震相的分析和地壳上地幔结构构造的研究,这一结论是地震转换波测深法重要的动力学基础。

四、方法的地质基础

在记录中, PS 转换波的信噪比很大程度上取决于转换波的能量,而后者取决于实际地壳上地幔介质的速度参数和界面结构。下列介质结构对产生强能量的 PS 透射转换波最为有利:

- (1) 在转换界面上纵波和横波速度有较大变化;
- (2) 转换界面由高、低速薄层组成;
- (3) 覆盖转换界面的上伏介质中对 S 波的吸收系数较小。

应该说,上述条件在地壳上地幔中普遍存在。地壳上地幔具有明显的分层结构,且 S 波的速度结构往往与 P 波速度分层有相同之处,也有不同之处。

众所周知,在沉积盖层和结晶地壳内部通常存在一些强的反射界面,它们通常也应该是强的转换界面,此外,还可能存在其他一些强的横波速度界面,虽然它们可能不是强的纵波速度界面。

国内外大量地震测深结果证实,地壳上地幔中除了简单的一级速度界面外,还普遍存在各种类型的薄层界面或由薄层组成的叠层界面,如韧性剪切带,构造滑脱面或拆离面,或是在一定温压条件下形成的相变面等,这类界面有一定厚度,常表现为高、低速薄层或由高、低速薄层组合成的叠层结构。

后面的理论研究表明 (Polshkov, 1972; 邵学钟等, 1978; 1985; 1991), 在高、低速薄层或叠层界面上能产生很强的转换波,它们通常要比简单界面上产生的转换波能量强得多。

在地壳上部介质中孔隙和裂隙都较为发育,近年来对多孔隙介质波吸收性能的研究表明,孔隙水的存在及其饱和程度对波的吸收产生重要影响。当岩层中孔隙水处于部分饱和时, S 波吸收系数将小于 P 波的吸收系数,特别是当孔隙水饱和程度达到 60%~80% 时, S 波吸收系数仅有 P 波吸收系数的 1/2 左右,在这种情况下 PS 转换波的能量大为增强,甚至由深部弱界面来的转换波也有可能在地表接收到。

总之,上述分析表明,实际的地壳上地幔介质速度结构对产生较强的转换震相是很有利的。

五、实测 PS 转换波的可行性

对实测地震资料的分析表明,记录地震转换波不仅是完全可能的,而且当 PS 转换波有相当强度时,还可实现 PS 转换波沿测线的相位对比和追踪。

作为实例,图 1-4 表示了新疆准噶尔盆地内 II-II 测线远震径向分量记录上 PS 波的对比追踪实例,野外观察采用三分量拾震器和 50 台磁带记录仪同时进行观测,拾震器的自震频率为 1 Hz,频带范围在 0.5~70 Hz,每条测线的长度大约 400 多公里,测点间距 6~8 km。由图可见,沿测线能分出多组 PS 波震相,有些界面的 PS 转换波能量很强(例如来自基地面和莫霍面的转换波震相),仅利用一两次远震记录就能实现某些 PS 转换震相沿测线的相位对比追踪,利用几个远震进行组合对比,其效果更好。值得指出的是,盆地中转换波测线的测点间距一般为 6~8 km 左右,如果测点间距缩小,对比追踪的效果肯定会更好。

由图 1-4 (a)、(b) 的对比可知,这是用 4 次远震沿同一测线做出的两张 PS 波相位对比图,虽然由于地震的震级、震源深度和地点不同而做出的两张相位对比图在细节上有不少差别,但是它们所记录的波动场在总体特征上是相似的,它们所反映的构造总体轮廓是基本一致的,说明所得波动场反映了地壳介质的总体构造特征,是客观的、可信的,因而也是有效的。

六、转换波测深法能得出的主要结果

1. 得出 PS 转换波震相沿测线的相位对比追踪图

实现转换波震相的对比,大大提高了转换波法的探测精度,是远震转换波法的特点之一。转换波同相轴形状基本能反映深部界面的起伏分布情况,凹陷处到时差增大,隆起区到时差减少,断层破碎带转换波波形畸变,振幅减弱,对比中断(图 1-4c),从同相轴起伏和到时差变化可看出各深部岩层在厚度上的横向变化,甚至岩层的尖灭,各岩层相互之间的叠覆关系等(图 1-4d)。总之,同相轴对比图给出了深部构造的大体轮廓和地壳上地幔层状块体结构的基本特征。转换波相位对比追踪图是资料进一步分析处理和解释的基础。

2. 得出 PS 转换波沿测线的时差剖面图

经过资料的 R、T、P 特征分量分析、全方位偏振分析和分离干涉波处理后,使转换波震相得到可靠识别和分离,最后得出沿测线的转换波时差剖面图(图 1-5),它有些类似于深地震反射法中的垂直反射时间剖面图,所不同的是事先不需要做走时校正,因为震中距的变化引起的转换波到时差变化很小,通常 $\Delta \leq 0.1$ s 左右,这在最后做结构剖面图时才做校正。在转换波到时差剖面图上综合了多个地震的测定结果,因此结果更详细,更能全面反映深部层状断块结构构造的特征(图 1-5a、b)。

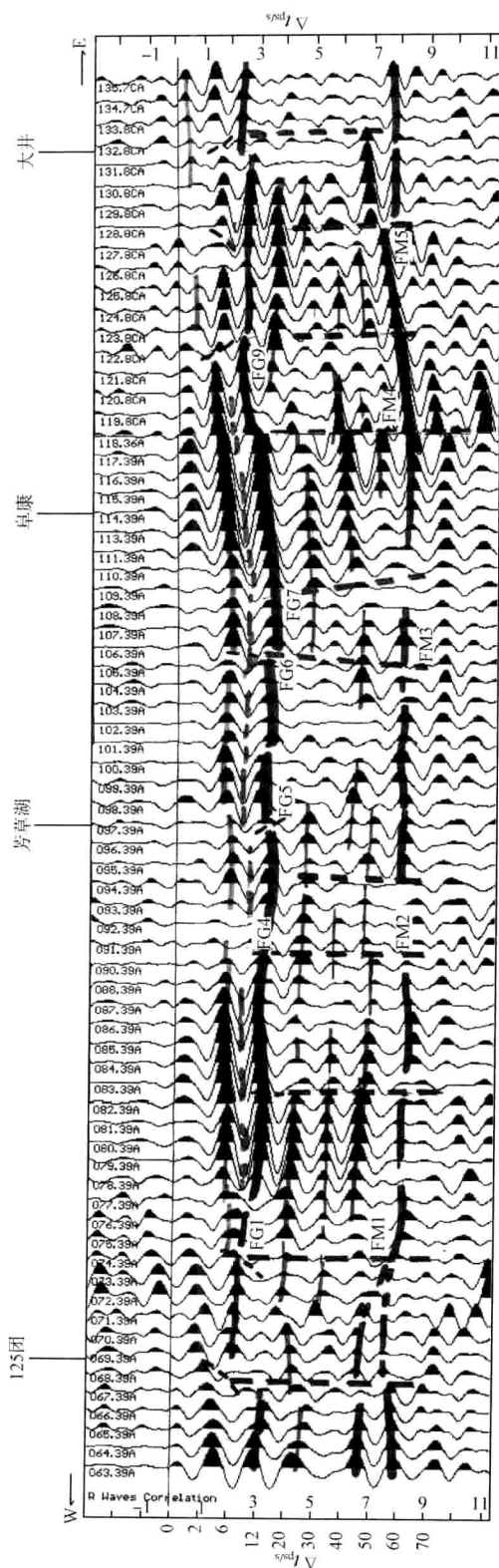


图 1-4 (a) 准噶尔盆地沿 II-II 测线用二次地震做出的转换波相位对比图

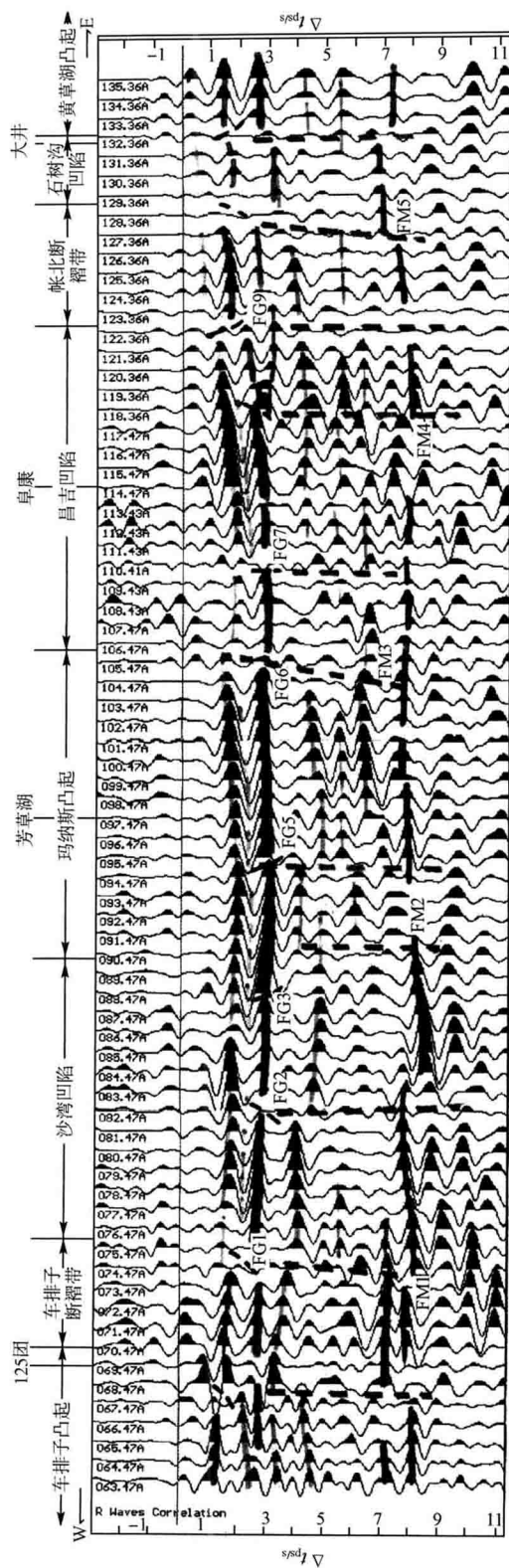


图 1-4 (b) 准噶尔盆地沿 II-II 测线用另外二次地震做出的转换波相位对比图

