

浅层 SH 反射波法和多道瞬态面波法 进行联合工程勘察的讨论

仇恒永¹, 王治华², 王书增², 夏学礼¹

(1 安徽省第一水文地质队, 安徽 蚌埠 233000; 2 上海市地质调查研究院, 上海 200072)

摘要: 针对目前单一工程物探方法调查浅部地质结构的局限性, 提出采用弹性波法勘察中研究浅部地质结构的 SH 波反射勘察和多道瞬态面波法勘察这 2 种有效手段进行联合勘探, 提高其可靠性和精度, 并给出了 3 个实例, 指出了在数据采集和处理时应注意的问题。

关键词: SH 波反射; 瞬态面波; 联合勘探; 震源

中图分类号: P631.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2008)04-0451-04

在工程基础设施建设中, 对浅部 (小于 30 m) 地质结构调查的精度要求愈来愈高, 解决的地质任务也愈来愈复杂。由于工程物探方法的多解性和反演精度的局限, 单一的工程物探方法已很难满足工程的需要。因此, 寻找有效解决浅部复杂地质任务的工程物探方法进行联合勘探是必要的, 也是可行的。

实践已表明, 浅层 SH 波反射勘察和多道瞬态面波法勘察都是调查浅部地质结构的有效常用方法, 由于各种物探方法的应用条件存在差异, 都有其局限性, 若将 2 种方法在对同一地质体的勘察中同时应用, 其解释结果可以互相佐证、更趋合理、可靠。

这 2 种方法同属弹性波法勘探, 应用的地球物理前提基本相同, 在开展工作时除使用的传感器和激震方式不同外, 无需增加设备, 进行联合勘探也可使资源得到充分利用。

在将 SH 波反射勘察得到的地震时间剖面进行时, 深转换时必须要有较准确的上覆层的横波传播速度, 而在对多道瞬态面波勘察得到的频散曲线进行反演又可获得土层的横波速度。同时, 在对频散曲线进行分层解释时也可参照 SH 波反射时间剖面的波组特征。

1 实例

1.1 实例一

图 1 是上海市三维城市调查朱泾处的 SH 波反射时间剖面, 可见有 T_1 、 T_2 、 T_3 波组可以连续对比追踪, 其双回程反射时分别为: $t_1 = 115$ ms, $t_2 = 214$ ms, $t_3 = 400$ ms; 即此处有 3 个明显的波组抗界面,

另外, 在 CDP650 处还施工了验证 SH 波反射勘察解释成果的 JSQ1 孔, 可见, 在该处已有了物探、地质的综合解释成果, 为了评价多道瞬态面波在研究浅部地质结构的勘探能力, 在 CDP650 处 (即 JSQ1 孔旁) 处还布置了一个排列的多道面波勘察, 为了能提高其勘探深度, 采用将 60 kg 铁球升至 1.7 m, 自由落体激震, 偏移距 10 m, 道距 3 m (排列长度 69 m)。采集多道瞬态面波数据。

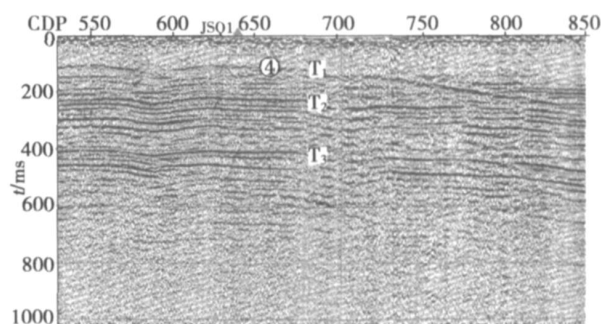


图 1 JSQ1 孔处 SH 波反射时间剖面

图 2 是采集的面波时间域记录及频散曲线, 可见该处的基阶面波发育, 其频散曲线有 3 个明显的分层点, 经反演第 1 界面埋深 5.16 m, 上覆层平均速度为 100 m/s, 层速度为 171 m/s; 第 2 界面埋深 17.44 m, 上覆层平均速度为 160 m/s, 层速度为 310 m/s; 第 3 界面埋深为 30 m 左右。若分别采用多道瞬态面波频散曲线反演得到的层速度可分别求取 3 个界面以上的平均速度, 分别是: 100、160、180 m/s, 用此速度对图 1 中的 3 组 SH 反射波组进行时深转换, 其埋深分别为 5.7、17.1、29.1 m, 显然 SH 波

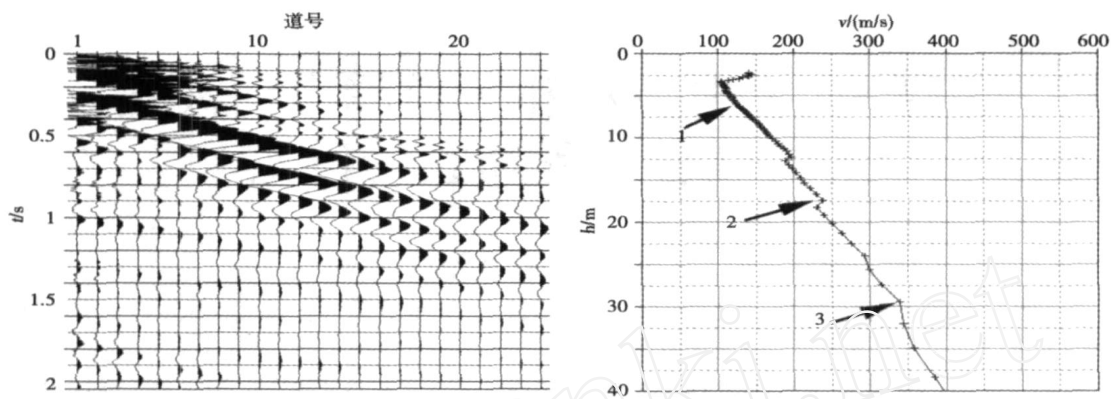


图 2 JSQ1孔旁面波波形(左)及面波频散曲线(右)

反射波组的 T_1 波对应面波频散上的第 1 界面, T_2 波对应面波频散上的第 2 界面,面波频散的第 1 分层点仅能和 SH波反射剖面上双回程反射时 325 ms 的波组对应, T_3 双回程反射时 400 ms 在面波频散曲线上无对应的分层点,若 T_3 的叠加速度选择 200 m/s,其埋深应约 40 m。这说明即使采用了落锤激震,长排列接收,要将瞬态面波勘探的深度增加至 40 m 是十分困难的。JSQ1 孔揭露第一硬土层埋深为 5.5 m,第二硬土层埋深为 18 m。这与 SH 波反射的 T_1 波和 T_2 波对应 (5.7 和 17.1 m),也与频散曲线的第 1 界面和第 2 界面对应 (5.16 和 17.44 m)。解释结果与钻孔资料的对比表明,采用 SH 波反射勘察和多道瞬态面波勘察相结合研究第四系浅部结构不但可行有效,还提高了资料解释的可靠性和精度。

1.2 实例二

图 3 是上海市滨海沉积区的 SH 波反射时间剖面,可见有 2 个可连续对比追踪的反射波组,其波速: $v_{T_1} = 340\text{m/s}$, $v_{T_2} = 500\text{m/s}$ 在 CDP1461 ~ 1441 间施工了 JSQ2 孔。和实例一同样之目的,在 JSQ2 孔处布置 1 个多道瞬态面波排列,采集参数同实例一。图 4a 是面波波形,图 4b 是其频散曲线,采集的

面波记录品质良好,基阶面波发育。频散曲线上有 3 个分层点,经反演解释,界面 1 埋深 5.43 m,层速度 121.9 m/s 界面 2 埋深 11.80 m,层速度 161.7 m/s 界面 3 埋深 22.92 m,层速度 223 m/s。若用多道瞬态面波勘察获得的速度资料对 SH 波浅层反射中的反射波组进行时深转换,则 T_1 波组 (叠加速度 135 m/s) 对应的深度为 22.95 m, T_2 波组对应的深度约为 30 m。显然,频散曲线上的第二个界面与 T_1 波对应,即滨海平原沉积区的暗绿色黏土层 (硬土层),JSQ2 孔揭露的顶板深度为 22.9 m。解释结果说明频散曲线上的第 1、2 分层点处在 SH 波反射时间剖面没有对应的反射波组, T_2 波的埋深超过 30

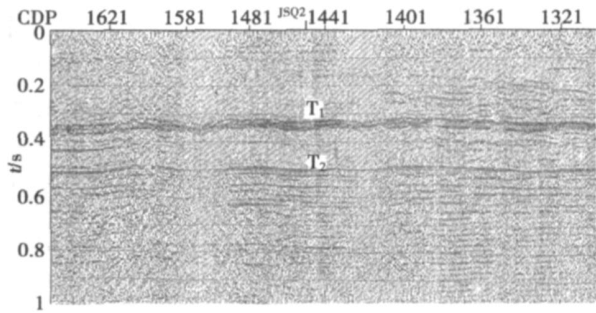


图 3 JSQ2孔处 SH波反射时间剖面

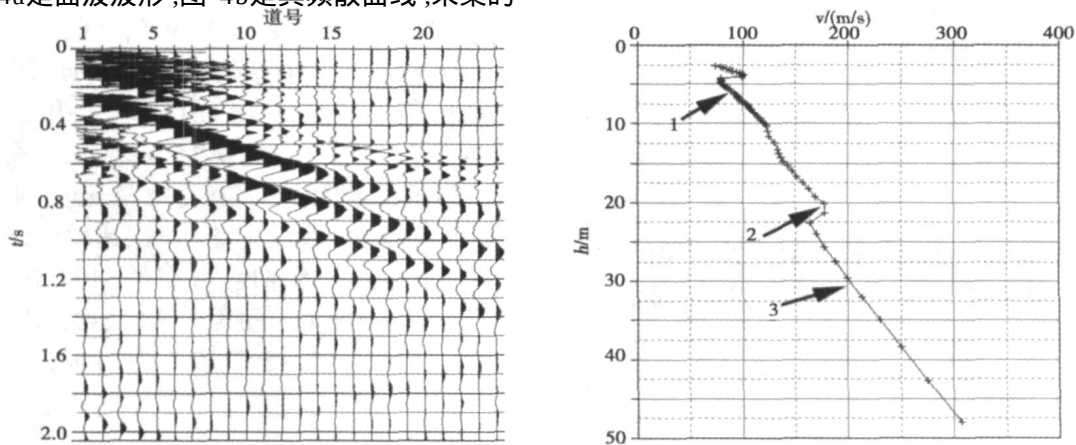
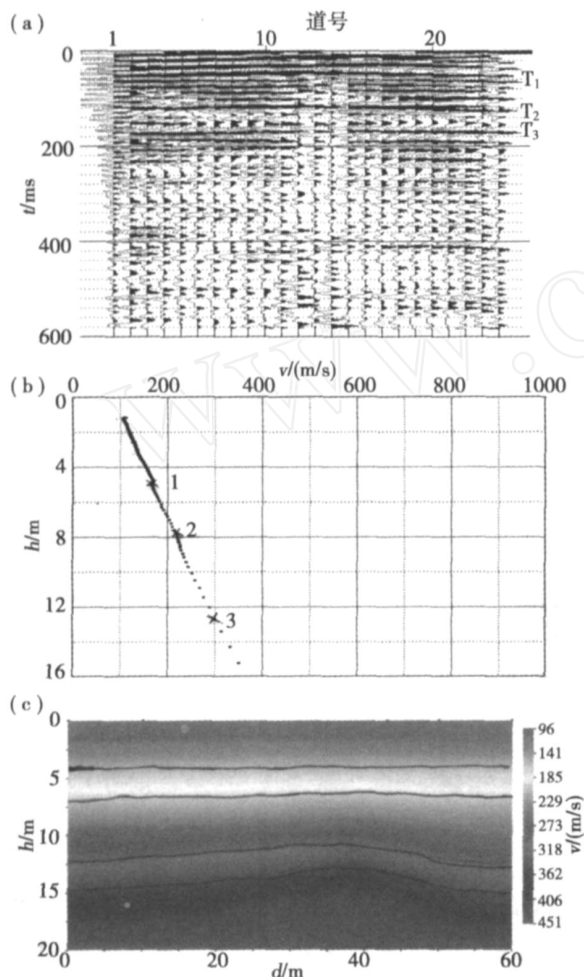


图 4 JSQ2孔旁面波波形(左)及面波频散曲线(右)

m,在频散曲线上则无反应,和实例一类似,多道瞬态面波勘察的勘探能力同样受到限制。

1.3 实例三



a—SH 波反射剖面; b—多道瞬态面波频散曲线; c—面波速度剖面

图 5 浅层 SH 波反射和多道瞬态面波勘探的实例

图 5 是在上海青浦同时采用浅层 SH 波反射和多道瞬态面波勘探的另一个实例。在 SH 波反射记录上浅层部有 3 个波组,其双回程反射时间分别为 60、120、175 ms,若各层的叠加加速度分别为 130、140、150 m/s,则各层对应的深度分别为 4.3、8.4、12.5 m,在面波频散曲线 4.8、7.9、12.5 m 也同样有 3 个分层点。这与 SH 波反射记录上的 T_1 、 T_2 、 T_3 反射波组的对应很好,在面波速度剖面上,也有 3 个层位与之对应。由此可见,采用 SH 波反射和多道瞬态面波所得的解释结果相互佐证是可行的。这就避免了单一工程物探方法解释的局限,提高了解释结果的可靠程度。

2 讨论

由于浅层 SH 波反射勘察和多道瞬态面波勘察都是研究浅部土体结构的有效方法,且都应用了土

体的剪切波速差异为其地球物理基础。将这 2 种方法结合起来研究浅部地质问题应是可行、有效的。上述 3 个实例也初步说明这一点。在实际应用中,可以利用 SH 波反射波组去检验面波频散分层是否正确,而用面波频散反演得到的地层速度资料来对 SH 反射波组进行时深转换,起到相互补充、佐证的作用,提高工程物探的应用效果和水平。另外,从上述 3 个实例中可以看出,在面波法有效的勘探深度内,凡有 SH 波反射波组处均一定存在有分层点,而在面波频散曲线上的分层点不一定都对应 SH 波反射波组。这说明多道瞬态面波勘察有较高的垂向分辨率。

在 SH 反射时间剖面上,实例一中的 T_3 波组和实例二中的 T_2 波组,由于其埋深较大,在面波频散曲线上均找不到与之对应的分层点。这是否可以这样认为,为了扩展瞬态面波的勘探深度采用 60 kg 落锤,1.7 m 的高度自由落下为震源,选择 69 m 的排列长度,其勘探深度仅在 30 m 以内。图 6 是实例一、二 2 个实验点,2 次重复激震得到的频散曲线对比图,从图可见,实例一在深度 20 m 内其频散曲线完全一致,重复性极好,实例二在 25 m 以内重复性也很好,而分别在 20、25 m 以下频散曲线则离散。显然利用重复激震,深部虽都有频散点,且具有收敛的特征,利用其进行解释也是会出问题的。之所以如此,笔者认为目前的采集硬件系统(震源、接收传感器)采集不到有足够能量的低频信号,所以在频率—波数域内所搜索到的低频误差较大。从图 6 还可看到,对 2 次激震频散曲线重复性好的区段进行反演,利用其得到的地层剪切波速度资料对 SH 波反射波组进行时深转换的结果和钻孔揭露深度进行对比,实例一仅为 0.34 m,实例二为 0.01 m,这说明多道瞬态面波这一方法无论是从采集到资料处理,只要慎用、会用,其结果是相当可靠的。

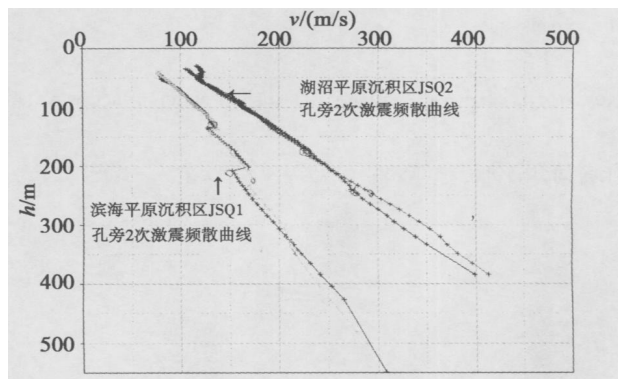


图 6 JSQ1 孔和 JSQ2 孔旁 2 次重复激震对比频散曲线

3 结束语

多道瞬态面波勘察已在生产实践中应用了 10 年。在浅部地质结构调查,横、纵向不均匀体勘察中取得了十分可喜的效果。但也应看到,仍存在有许多问题需要解决,其中关于在频率—波数域提取频散曲线的唯一性应引起重视,频散曲线的唯一性是指:对采集的多道瞬态面波数据按资料处理原则进行多次处理的结果应是一致的;对同一排列二次激震并分别按处理原则得到的结果也应相同。笔者认为,凡是得到的频散曲线结果是唯一的,其反演、解释的结果十分可靠,且有较浅层 SH 波反射勘察有更高的垂向分辨率。

目前,浅层 SH 波反射采用的震源笨重,勘探深度较小,是其应用受到局限的主要原因。据笔者经验,即使在震源条件很好的情况,其勘探深度也不会超过 80 m。多道瞬态面波的勘探深度也受到限制。可见,在弹性波法勘察中,震源已成为迫切解决的问题。毋庸置疑,长期以来,在震源、数据采集系统、数据处理系统这 3 个地震勘察环节中,震源是最不受研究者重视的。目前,炸药震源使用的空间愈来愈受到限制,开发轻便、能量大的机械震源是浅层弹性

波法勘探十分迫切的任务。

参考文献:

- [1] 刘云桢,王振东.瞬态面波法的数据采集处理系统及其应用实例[J].物探与化探,1996,20(1).
- [2] 黄嘉正,周鸿秋,关小平.工程地质中瑞利波勘探的理论初探[J].物探与化探,1991,15(4).
- [3] 肖柏勋,凡有华,刘家奇.瑞雷波勘探方法研究现状分析[J].工程物探,2002Q(2):138.
- [4] 张碧星,鲁来玉,鲍光淑.瑞雷波勘探中“之”型频散曲线研究[J].地球物理学报,2002,45(2):3.
- [5] 黄嘉正,周鸿秋,关小平,等.工程地质中瑞利波法勘探的理论初探[J].物探与化探,1991,15(4):268.
- [6] 杨天春,何继善,吕绍林,等.三层层状介质中瑞利波的频散曲线特征[J].物探与化探,2004,28(1):41.
- [7] 黄真萍,刘振干.瞬态振动法瑞雷面波采集质量的探讨与分析[J].物探与化探,2005,29(2):179.
- [8] 杨天春,易伟建,何继善,等.求取道路结构型地层瑞利波频散曲线的方法[J].物探与化探,2005,29(5):459.
- [9] 王振东.面波勘探技术要点与最新进展[J].物探与化探,2006,30(1):1.
- [10] 杨天春,杨立新,郑京杰.地层中存在裂缝情况下的瑞利导波频散特征[J].物探与化探,2007,31(4):361.
- [11] 夏学礼,仇恒永,孙秀容,等.多道瞬态面波勘探频散曲线唯一性问题的讨论[J].物探与化探,2008,32(2):168.

THE COMBINED EXPLORATION USING THE SHALLOW LAYER SH REFLECTION METHOD AND THE MULTI-CHANNEL TRANSIENT SURFACE WAVE METHOD

Q U Heng-yong¹, WANG Zhi-hua², WANG Shu-zeng², XIA Xue-li¹

(1. No. 1 Hydrogeological Party of Anhui Province, Bangbu 233000, China; 2. Shanghai Institute of Geological Survey, Shanghai 200072, China)

Abstract: In view of the limitation of engineering exploration in investigating the shallow geological structure, this paper proposes combining the SH wave reflection method with the multi-channel transient surface wave method to enhance exploration reliability and precision. With three practical examples, this paper points out several problems that are worthy of much attention during data acquisition and processing.

Key words: SH wave reflection; transient state surface wave; integrated exploration; seismic source

作者简介: 仇恒永(1964-),男,汉族,安徽人,工程师,长期从事工程物探工作,公开发表学术论文数篇。