

# 天然面波小排列“直线型”观测装置在城市中的应用

邹占 吴鸿飞

新疆维吾尔自治区地质矿产勘查开发局地球物理化学探矿大队, 新疆 昌吉 831100

**[摘要]**天然面波探勘应用之初用于动态监测、大深度地质调查, 主要在远郊区; 随着人类发展进步需求, 近年来该方法逐渐在民生工程勘查工作中崭露头角, 作用于地基、地面沉降、地下空洞、坝基检测等勘探调查; 其方法凭借绿色环保、抗干扰能力强、安全、成本低的特点越来越多进入到城市工作中。城市环境的复杂性制约观测系统的布置, 文中主要通过新疆地区早期人防工程调查为例, 说明“直线型”观测装置在城市勘探的高效性、可行性以及应用前景。

**[关键词]**天然面波; 直线型排列; 城市勘查; 高效

DOI: 10.33142/ect.v2i6.12375

中图分类号: P315

文献标识码: A

## Application of Natural Surface Wave Small Arrangement "Linear" Observation Device in Cities

ZOU Zhan, WU Hongfei

Geophysical and Chemical Exploration Brigade of Xinjiang Geology and Mineral Exploration and Development Bureau, Changji, Xinjiang, 831100, China

**Abstract:** Natural surface wave exploration was initially used for dynamic monitoring and deep geological surveys, mainly in suburban areas. With the needs of human development and progress, this method has gradually emerged in people's livelihood engineering exploration work in recent years, playing a role in exploration and investigation of foundations, ground subsidence, underground cavities, dam foundations, etc. Its method has increasingly entered urban work due to its characteristics of green environmental protection, strong anti-interference ability, safety, and low cost. The complexity of urban environment restricts the layout of observation systems. This article mainly uses early civil defense engineering surveys in Xinjiang as an example to illustrate the efficiency, feasibility, and application prospects of "linear" observation devices in urban exploration.

**Keywords:** natural surface wave; linear arrangement; urban exploration; efficiency

### 引言

近年来, 随着城市建设飞速发展, 地球物理勘查逐渐走向城市。由于城市环境决定大多数物探方式在城市建设中难有作为, 目前仅有地质雷达、高密度电法和天然面波在城市勘探中应用较多。地质雷达干扰较大, 只能解决 5 米内的勘查; 高密度电法受到铺装路面影响很多区域无法施工; 天然面波能够较为顺利开展, 天然面波主要有 4 大特征: (1) 在地表无时无刻都存在; (2) 源的空间分布和强度具有随机性; (3) 在某一个固定位置, 源的来源不确定; (4) 天然面波携带面波固有的频散特性。该方法以平稳随机过程理论为依据, 从地球微动信号中提取面波频散曲线, 通过对频散曲线的反演得到地下介质的横波速度结构, 从而进行岩性分层及构造分析的一种地球物理勘探方法。该方法对环境友好, 符合绿色勘探理念; 数据分布式采集, 操作方便, 经济高效; 同时抗干扰能力强, 适用于城市环境。我国城市化近年来的高速推进, 城市环境中, 行驶的车辆, 行走的路人以及屡见不鲜的各类工程施工等等都成为强信号源, 且方向四通八达, 各个方向的面波信号往往能满足城市浅部勘探的需求。

本文主要以昌吉市早期人防工程勘查效果为基础, 论述天然面波小排列“直线型”装置相对其他装置的可行性、

高效性以及应用前景。

### 1 天然面波常规观测装置

天然面波观测台阵有“多重圆”, 后续逐渐衍生出“十字型”“L”型、“T”型和“直线”型。根据仪器配置情况, 目前市场主要用“三重圆”进行生产工作, 此装置能够接收不同方向的、不同波段的数据进行自相关计算, 来确保甄别对处理有用的波动信号, 形成可靠频散图, 成为市场主流的观测台阵。“十字型”和“L”型次之, “直线型”排列投入生产应用极少, 主要集中在科研课题和装置试验中。

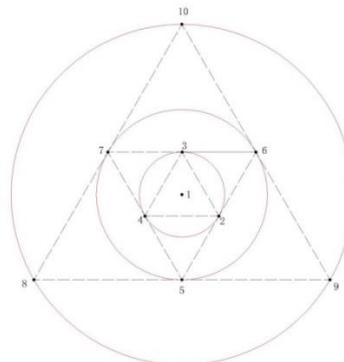


图1 “三重圆”装置示意图

图1所示, “三重圆”装置实际为多重圆系统的一种,

受市场仪器检波器数量限制,该装置为三个内嵌等边三角形布置观测系统,三角形从小到大边长翻倍,检波器铺设在每个三角点上(如图1中为2~10号检波器),正中心铺设一个检波器(如图1号检波器),共十个检波器,中间检波器为该排列的记录点,布置在测线上,一个观测周期得到一个记录点测深数据。

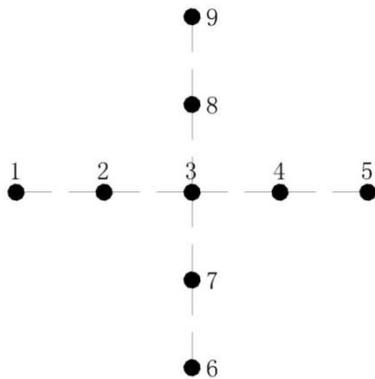


图2 “十字”型装置示意图

图2所示,“十字”型装置主要是两条等边中心垂直构成,以10个检波器为例,1~5号检波器为直线边(顺勘探线方向),3、6~9号检波器为垂直边,记录点为中心点(3号检波器),一个观测周期得到一个记录点测深数据。

“L”型、“T”型观测系统是基于施工环境限制,由“十字”型演变出来相对简易的观测装置。“直线”型装置与人工瞬态面波布列方式类似,记录点位于排列中心。

天然面波的观测系统只是采集信号的手段,了解目标区域有效波动信号的规律,在能完成目标任务的前提下布置简易高效的观测装置才是工作人员的重点解决问题。

## 2 天然面波装置在城市环境中的选择

目前天然面波勘查主流为多重圆装置(主流生产仪器设备三重圆),其能采集多方向的信号参与计算,理论上更加符合实际情况。而在城市工作中常常面临以下难点:

(1)在空旷的野外环境中,“三重圆”能够顺利布置,但是在建筑密集、道路四通八达以及车辆人员不断流动的城市环境中,在测线两旁经常无可以布置检波器的空地,给工作造成困难。

(2)城市物探工作往往是高精度、小点距,而“三重圆”装置1个采集周期得到1个点成果,面对庞大工作量显得效率低。

(3)微动工作深度与排列半径正相关,城市浅部测深工作需要布置小半径排列,“三重圆”装置系统检波器的位置关系精确布置需要用RTK定点(厘米级),较为繁琐。

“十字型”“L”型、“T”型与“三重圆”装置类似,二维的观测系统在城市很多地方难以展开。

针对目标地质体具有埋藏浅且规模较大的特点。而城市环境中,行驶的车辆,行走的路人以及屡见不鲜的各类

工程施工等等都成为强信号源,且方向四通八达,各个方向天然面波往往能满足浅部勘探的需求。针对目标体和城市天然面波的特点,项目组提出装置择优。

对比众多排列装置,直线排列施工简单,且高频信号与“三重圆”装置差别不大,“直线型”排列装置存在生产应用可行性,项目组开展装置试验对比工作。

选取昌吉某地已知人防单体工程和连续地层地段做对比工作,“三重圆”观测系统采取最大4m直径,“直线型”采取1m道间距4m排列长度装置系数,均用2Hz检波器监测,单体工程成果如图3所示:人防工程施工跨度30~48点,38~41点对应两堵厚墙体,两种装置视Vs在人防空间呈低速异常,混凝土墙体呈高速异常,反映良好且形态基本一致。

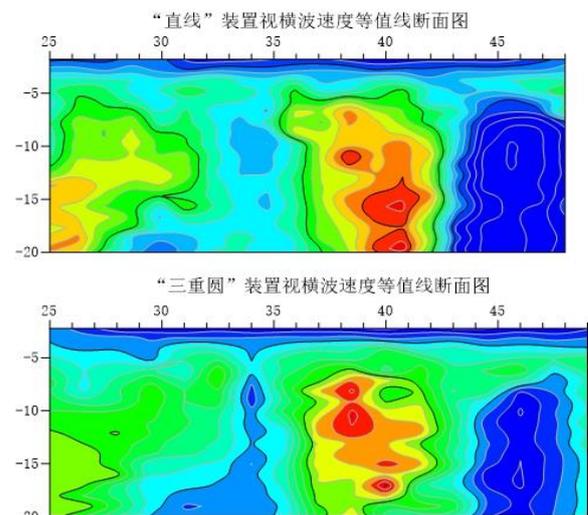


图3 已知人防工程不同装置对比图

昌吉市城区连续地层对比示意图如图4所示:两种装置成果视横波速度结构一致,有效反映浅部的地质信息。

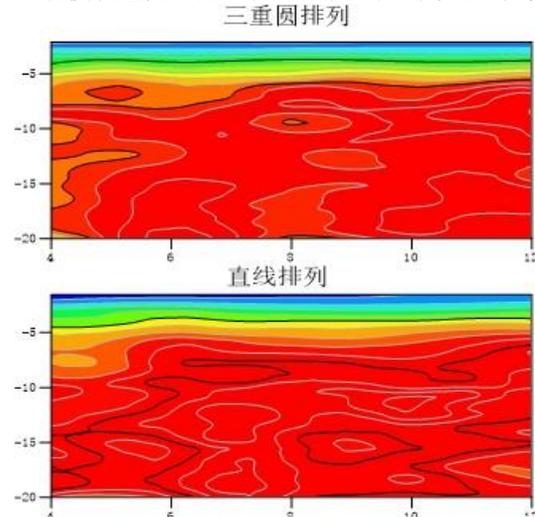


图4 连续地层不同装置对比图

针对城区环境波动信号的特点,人防工程埋藏浅规模

大的特点，通过不同试验对比得出“直线型”装置对特定目标体的可行性。

### 3 生产效率与应用效果

微动勘探深度与排列长度正相关特性，目标体埋深位置不同采用不同数量检波器计算，对10个检波器1个周期采集数据抽道集，可得多个测深记录点。以5个检波器计算1个测点为例，图5可以看出：1-5号检波器计算记录点1，2-6号检波器计算记录点2，以此类推6-10号检波器计算记录点6，1个采集周期能得到6个测深点；而其他装置1个采集周期智能得到1个测深点，工作过程中可根据目标体深度范围采取根分别采用5, 7, 9个检波器计算，生产效率成倍提高且布置简单。

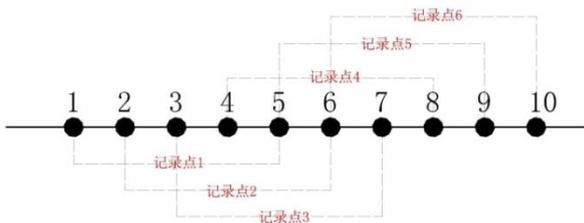


图5 直线型排列示意图

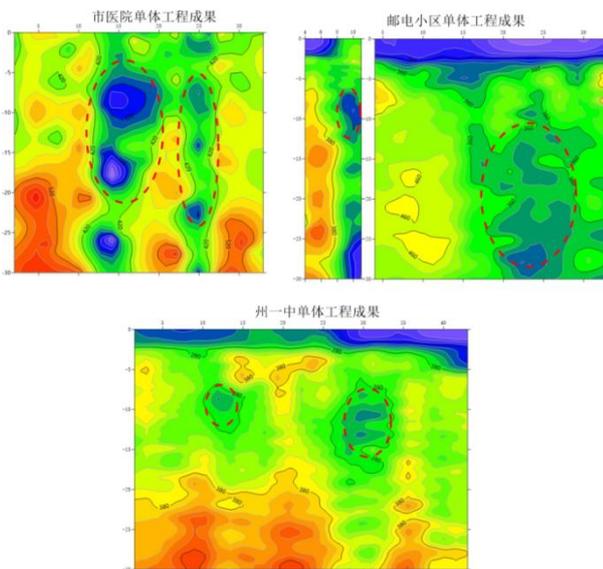


图6 部分人防工程成果图

在生产应用中，根据了解目标体的空间范围的差异布置不同道间距直线排列，不同个数检波器信号提取，在昌吉市早期人防工程调查中，部分成果如图6所示，通过后期人员走访、施工图纸收集或者钻探验证，其低速异常区域与人防工程空间良好吻合，体现了天然面波直线排列的可行性。

### 4 结束语

基于《昌吉州人民防空办公室早期人防工程隐患排查治理普查评价采购项目》的开展，天然面波方法由于其出色的抗干扰性和“绿色”勘查优势已经渗入到城市地下空间探测中，而常规“三重圆”排列在城市部分环境中难以展开且效率低下，“直线”型排列成为新的发展思路。

“三重圆”和“直线排列”成果在浅部信息基本一致，而城市地下空间目标体普遍埋藏浅可以作为天然面波“直线”排列开展的必要前提。通过本项目施工完毕，对于埋藏浅且范围较大的目标体勘查，“直线”型排列微动方法可以作为一种有效、环保、高效的勘探方法。在以后类似工作中，可以将“直线”型作为假想的勘探手段，与其他装置试验对比，在能够满足目的任务的前提下，能够作为可实施的勘查手段。

当前城市勘查工作繁多，不同地区工程地质条件不一样导致“直线型”天然面波接受有效信号能力参差不齐，若城市地球物理勘查工作遇到低速带屏蔽、信号难以辨别情况，可采用主动源与被动源面波相结合创新方式开展工作。

#### 【参考文献】

- [1] 刘宝亨. 微动面波勘探法简介[J]. 铁路地质与路基, 1997(1): 10-14.
- [2] 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): 1-6.
- [3] 赵东. 被动源面波勘查方法与应用[J]. 物探与化探, 2010, 34(6): 759-764.
- [4] 李娜, 何正勤, 叶太兰, 等. 天然源面波勘探台阵对比试验[J]. 地震学报, 2015(2): 323-334.
- [5] 陈实, 刘云祯, 李延清, 等. 综合物探技术在城市活动断裂调查中的应用-以乌鲁木齐八钢石化断裂为例[J]. 地球物理学进展, 2019, 34(4): 1584-1591.
- [6] 陈实, 李延清, 李同贺, 等. 天然源面波技术在乌鲁木齐市地质调查中的应用[J]. 物探与化探, 2019, 43(6): 1389-1398.
- [7] 栾明龙, 刘增, 刘爱友, 等. 天然源面波技术在城市工程勘察中的应用效果分析[J]. CT理论与应用研究, 2020, 29(6): 651-662.

作者简介：邹占（1987—），男，湖北荆州人，汉族，本科学历，中级工程师，就职于新疆维吾尔自治区地质矿产勘查开发局地球物理化学探矿大队，从事于地球物理勘查工作。