

工程物探方法综述

摘要 随着经济的发展，工程物探方法显得尤为重要；本文简单介绍了用地质雷达、高分辨率 SH 波浅层反射波法、瞬态瑞雷面波法勘探及高密度多波列地震映像法等工程物探方法。

关键词 地质雷达瑞雷波 工程物探 浅层反射勘探

随着我国国民经济的高速发展，城市现代化进程的不断深入，各种城市工程建设方兴未艾，而城市工程建设在规划、设计、施工阶段都必须对建设区域内的地质情况及地下埋设物情况有一个系统的了解，在建设工程中及建成后还必须对工程质量进行检测和监测，另外，在工程抢险、地质灾害调查、考古等工作中都须进行适当的探测工作。工程物探的应用领域大致有以下几个方面：

(1)工程地质调查；(2)工程质量检查；(3)环境检测、监测；(4)工程抢险；(5)地质灾害调查；(6)地下、水下埋设物及障碍物探测；(7)地下管线测漏及防腐层完整性检测；(8)水文工程参数测定；(9)考古。

可以毫不夸张的说，工程物探在国民经济高速发展的时代显得越来越重要，现就把常用的工程物探方法简单介绍如下：

1 工程地震勘探

工程上常用的地震波法勘探可分为：高分辨率浅层地勘探、瑞雷波勘探、地震映像、横波勘探四种。

在工程及水文地质调查领域，地震波法勘探经常被用来详细划分第四纪地层、确定目标层的深度、厚度、起伏形态、横向分布，探测异常体的位置和埋深、寻找溶洞、断层及破碎带。

1.1 高分辨率浅层地勘探

这里先介绍高分辨率浅层地勘探中的反射波法及折射波法。其主要原理是根据对反射波或折射波时间场沿测线方向的时空分布规律的观测确定地下反射面或折射面深度及构造形态和性质。地震勘探相比其它物探方法，具有精度高、解释成果单一的优点。我们所看到的物探剖面是一种经过校正后的并赋以地质内涵的反射波或折射波时间剖面(实质是不同地质体的反射波或折射波波速差异)。地震勘探成果同其它物探解释成果一样，由于物理力学指标差异，不同地质体的波速有可能相近，而相同地质体由于所遭受的内力或外力地质作用不同，波速也有可能不同。选择有代表性的钻孔资料能更好的确定剖面中各界线的代表的地质体，从而提高地震勘探解释成果的可靠性，也能够使其成果在邻区或类似地区推广应用，使其优点更好的发挥高分辨浅层地震勘探在工程地球物理领域的应用极为广泛。

1.1.1 浅层地震反射法

浅层地震反射法勘探主要采用多次覆盖技术，是根据水平叠加技术的要求而设计的。水平叠加又称共发射点叠加或共中心点叠加，就是把不同激发点、不同接收点上接收到的来自同一反射点的地震记录进行叠加，这样可以压制多次波和各种随机干扰波，从而大大地提高信噪比和地震剖面的质量，并且可以提取速度等重要参数。

1.1.2 浅层初至折射波法

浅层初至折射波法地震勘探是国内外公认的勘测浅层地震构造的有效方法之一。它能探测基岩的深度、起伏、岩性接触带及断裂破碎带的位置和延伸方向，尤其能测定基岩中的纵波速度的大小及其分布范围，从而了解测区基岩的岩性变化和致密程度等。这是其它物探方法所无法替代的，因此，被广泛应用于陆地和水域中的桥梁、建筑等大型工程建设的地基勘

探中，配合钻探等其他资料，可以为工程设计和建设提供更全面的依据。

1.2 瑞雷波法勘探

面波勘探包括稳态法和瞬态法两种类型，由于所反演的参数与工程地质领域中的弹性力学参数之间有相关关系，因而在该领域得到广泛应用。瑞利波勘探的正反演理论，尤其是瞬态法的频散曲线计算及之字型曲线的形成机理和解释方法还处在研究和探索之中。非线性反演方法，如人工神经网络、遗传算法等得到较为成功的应用。

瑞雷波法是利用瑞雷波的传播特性来检测地表下一个波长深度范围内，岩土的平均剪切波波速随深度变化的一种方法。在半无限空间弹性介质的地表附近，可存在瑞雷波。它沿地表传播，质点运动呈椭圆形轨迹，成逆向振动传播。当在地面上施加竖向激震力，即能产生不同频率的瑞雷面波。根据该原理可进行瑞雷波测试。瑞雷波分布在弹性界面的附近，对地层浅部，尤其对第四系松散堆积层的分层、对水位以下地层分层及基岩界面的确定具有很高的分辨能力。

另外陆地声纳法是“陆上极小偏移距离高频(宽频)弹性波反射连续剖面法”的简称[2]，综合了地质雷达、声波法和水上声纳法的方法技术。

1.3 地震映象法

地震映象法类似反射法中的共偏移距法。它是通过在地面人工激发地震波，地震波在地下介质传播过程中，遇到不同介质的分界面时(即存在波阻抗差异界面)，产生一定能量的反射波并返回地面，经埋置在地面或水中的检波器接收后输入地震仪，通过地震仪进行信号放大和采样后将波形数据记录于磁盘。通过计算机和人工对接收到的地震波的时间，相位和振幅等信息进行分析和解释，计算出各层介质波的速度和埋深。根据反射法中的最佳偏移距技术，选择一定的偏移距，激发点与检波点的距离固定不变，

每激发一次，记录一道，输入地震仪，同时移动激发点及检波点。通过地震仪记录可获得一条最佳偏移距地震反射时间剖面，以大屏目密集显示形成彩色数字剖面，再现地下地层结构形态。通过计算机对接收到的地震反射时间剖面进行数据处理解释，可获得地下地层界面的深度。

1.4 横波勘探

同纵波勘探相似。根据波在介质中的传播特征横波勘探也可分为直达波、回折波、折射波和反射波勘探等横波速度测量一般采用测井方式。根据所采用的不同测量方式和波传播的不同特征，钻孔波速测量可分为单孔以及跨孔横波测量及 PS 测量和 VSP 测量。另外，上面介绍的面波勘探在工程物探中的应用也相当普遍。在实际工作中究竟选用哪一种方法，要视需要解决的问题、现场条件、要求精度以及现有的仪器设备而定，这些方法都有各自的适用范围和特点。没有一种是全能的。与纵波勘探相比，这些方法在解决近地表的地质问题方面具有明显的优势和较高的精度。

2 电法勘探

2.1 电阻率法

电阻率法勘探分为电阻率剖面法、电阻率测深法、高密度电法等。各种介质及物体的电学性质(包括电阻率、电化性、介电性、导磁系数)具有一定的差异，能形成一定规律的天然和人工电磁场。探测并研究天然的或人工建立的电磁场的分布规律来达到研究地质构造、寻找矿藏、探测地下目的物的目的。高密度电法是目前工程界常用的一种勘探方法在场地勘察、公路及铁路隧道选线、坝基及桥墩选址、地下空洞及裂缝调查、坝体及坝基渗漏研究、地下管线测漏等均能取得很好的地质效果。

2.1.1 电阻率剖面法

它和电测深法没有本质不同，都是以研究人工电场在地下的分布规律

为基础，是广泛采用的一种方法。它与电剖面法配合，对研究基岩面起伏规律、断裂带分布等效果较为明显。主要有对称四极法及联合剖面法等。电法勘探主要研究对象是沉积岩。在电法勘探中，岩层电性差异是进行电法工作的物理前提(即电阻率差异)。影响电阻率(主要是离子导电)的主要因素是岩层含水情况，同时还决定于水溶液的矿化度、水溶液的存在状态。如果水在岩石中呈分散和不连通方式，则对电阻率的影响较小，而互相连通状态则使岩层电阻率大大降低。因此在同样含水情况下，矿化度不同电阻率也不同，甚至差异较大。沉积岩在含水情况下电阻率可达数千~上万，而在饱水情况下为几个或几十个。另外孔隙度小的岩石电阻率较高(岩浆岩及大部分变质岩)，而孔隙度大、渗透性小的岩石(各种泥岩)其电阻率较低。

2.1.2 电阻率测深法

电阻率测深法是测量观测点深度方向以下视电阻率变化规律，以研究地下不同深度的岩层的分布状况。在研究覆盖层厚度及岩性变化情况等有广泛应用。所研究的对象主要是有不同电阻率的水平岩层，最有利的条件是呈水平或倾角不大(小于 20 度)的岩层，而对倾角很大的岩层，解释工作也会变得困难。

用于浅层探查的电磁探测[3]方法有三大类：探地雷达(GPR)、时间域电磁法(TEM)和频率域电磁法(FEM)。探地雷达被广泛地应用于电阻率较高地区的探测，并且有较高的分辨能力，可以探测 cm 级至几十米深度，但是在电阻率小于 的环境 中，这种仪器的探测深度被限定在 1 之内 如粘土覆盖区。为了克服探地雷达的局限，人们对时间域和频率域电磁法探测仪器的发射信号频率及信号波形等进行了改进，以弥补探地雷达的不足。

2.1.3 高密度电法

高密度电阻率法的物理前提是地下介质的电性差异。和常规的电阻率法一样，它通过 A、B 电极向地下供电，然后测量 M、N 电极之间的电位差，即可求得该测点的视电阻率值。高密度电阻率法的特点是集常规的电剖面和电测深于一体进行二维地电剖面测量。其测点密度、电极数量远比常规电阻率法大，可根据需要自动进行电极排列形式、极距及测点的转换，实现数据的快速采集和微机处理，获得地下介质电阻率分布情况，进而了解岩土的性质和分布范围。高密度电法进行二维地电断面测量，兼具剖面法与测深法的功能。

2.2 电阻率 CT 反演方法。

近年来兴起的模拟退火法和遗传算法等非线性反演方法，对初始模型依赖小，在很少或没有先验值可用的情况下仍然有效，不像线性反演那样需要良好的初始模型。目前三维电阻率反馈技术也开始进入实用阶段。

2.3 激发极化法

激发极化法可以分为时间域和频率域两类。时间域激电法中，连续变脉宽发送激电方波与自动变周期测量二次场信号[4]成为工作方式的主流代表。采用“电场差分法”[5]技术测量，目的是为了同时获得激电信号的时间谱和伪测深数据——频率变化时对应的激电一次场及二次场数据，指导思想是获取更丰富的信息量。由于发送机、接收机在程控、自动化和高效系统建立等环节受到时间域方法本身的限制，其发展和推广还有很长路要走。频率域方法进展较快；该方法包括变频激电法、双频激电法、奇次谐波法(复电阻率法)和频谱激电法等。

3 微重力、高精度磁测和地脉动

工程物探领域常用的磁法勘探包括地面磁法、海洋磁法、井中磁法。地表以下各种含磁性体的建构筑物、遗弃的金属物体等由于与周围土体具

有不同的磁性，其磁性差异会引起地磁场强度变化，通过高精度磁力仪观测，研究地磁场强度变化的特征，即能达到寻找目标物的目的。工程建设中常用高精度磁法来探寻建设区域内的各种地下金属埋设物如建筑物基础、地下爆炸物体、沉船等。

随着重磁正反演理论水平、信息处理技术及仪器精度、稳定性和抗干扰等能力的提高[6]。随着地形改正、延拓 异常分离计算、综合处理和联合反演系统的建立，重磁法探测和其它物探方法相结合，可以达到解决某些特殊工程问题的目的[7]。高精度磁测主要应用于水资源调查、矿产资源调查、区域地质调查、古地磁地史重建和考古。环境污染调查等；在无损伤领域，非接触高精度磁测在金属材料和结构构件检测方面取得良好效果[8]，微重力应用于测井、地质工程、煤田、石油、海洋资源、矿产资源勘察等领域[9]。其应用范围在很大程度上取决于重力测量所使用的仪器，在石油和矿产勘探以及其结构构造研究领域使用的相对重力仪，决定着重力法所解决的问题，甚至决定着重力法应用的发展进程。

4 测井

测井技术有效地利用了钻孔资源，由于靠近目标异常或结构，在数据获取和成果推断解释方面更具有优势，配合钻孔资料，其解释结果具有极高的可信度。

常用的工程物探测方法有：电测井、P—S 测井、放射性测井，孔内电视、孔内摄影。测井是日前已被工程界广泛应用的原位测试技术，通过测井可以获取大量的与岩土物性有关的物理参数，包括岩土层的弹性波速、岩土力学参数、密度、含水量、孔隙度、矿化度、电阻率、井温等，也可以对钻孔本身的井径、井斜、孔底沉渣进行测定。

5 水域工程物探

常用的水域工程物探技术有：水上浅层地震、浅地层剖面、旁侧声纳、双频测深、多波速测深、海磁等。进行水域工程物探的主要目的是：

(1)对拟建工程区域进行地质调查：浅部地层划分、不良地质体(浅层气、埋藏古河道、流沙层、砂体坍塌等)调查、水下地形测量。

(2)水下埋设物、遗存物体探测：探测水底管道、隧道，探测沉船、遗留的爆炸物体、抛石坝等。

(3)河道整治：河床淤积情况调查，砂体运移、航道变迁情况监测。

6 结束语

工程物探可以有效地解决工程上很多其他方法难以解决的难题，并有快速、便捷、经济的特点，随着我国城市化进程的加速，其方法技术、应用领域将不断拓展。但要值得注意的是工程物探取得的成果大多是间接成果，具有多解性的特点，因此，有应用中应遵循从点到面、从已知到未知、从简单到复杂的物探工作基本原则和多种方法的综合应用，相互印证并结合必要的验证措施，才能取得令人信服的地质效果。

参考文献

- [1]王兴泰，高分辨率浅层地震勘探的有关问题——工程与环境物探新方法新技术 [M]北京：地质出版社，1996
- [2]钟世航，陆地声纳法及其应用成果：[J]．物探与化探，1997，21（3）：172-179
- [3]林君 电磁测深技术在工程与环境中的应用现状[J]物探与化探，2000，（3）：172-175
- [4]何继善．散发极化法的测量精度及其对应用的影响[J]物探与化探，1995，（1）：23-27
- [5]任俞 电法勘探圈划油气基层的新技术——差分标定简介[J]、．国外油气勘探-1991、（2）：15-17
- [6]曾华霖重力仪的现状与发展：[J]．物探与化探，1999
- [7]陈晦鸣，余钦范环境污染调查中磁与电磁测量新技术的应用[J] 地学前缘 ．[22]刘振兴，邹光华地球物理与中国建设[M] 北京：北京出版社．1997
- [8]林俊明．林春景．林发炳基于磁记忆效应的一种无损检测新技术[J]无损检测．2000
- [9]刘军．工程微重力勘察的方法特点与应用：[J]．工程勘察，1999，158：62—64