

浅层物探技术在管道施工中有效提高施工安全性的应用研究

高怡然¹, 谢孟卿², 高振卿³, 李攻科²

(1. 中国石油集团东南亚管道有限公司, 北京 010000; 2. 中国石油天然气管道局第四工程分公司, 河北廊坊 065000; 3. 中国石油天然气管道局管道检测技术有限责任公司, 河北 廊坊 065000)

【摘要】随着我国经济和社会的迅速发展, 管线运输已成为油气运输的重要方式。近年来国家大力发展长输管线的建设施工, 但是在管道非开挖工程如盾构、顶管、HDD, 仅靠钻探对地质结构的判断是不够的, 对断层、变异岩体必须依靠准确精细的物探。本文对现在国内外管线施工中常用工程物探手段进行简要论述。着重论述浅层地震法、电阻率法、地质雷达的综合运用。但是由于地球物理勘探的局限性, 实际施工过程中应多种物探手段相结合, 物探与钻探相结合, 以期对地质条件进行准确解释, 为管线施工建设和安全运营打下良好基础。

【关键词】管线施工; 工程物探; 浅层地震反射波法; 电阻率法

【中图分类号】TU761 **【文献标识码】**A **【文章编号】**1673-1891(2014)02-0065-05

管道运输是国民经济综合运输中的重要组成部分, 也是衡量一个国家能源与运输业是否发达的重要特征。油气管道运输具有运量大、运费低、自动化程度高、占地少、安全环保等优点, 我国现在正大力发展长输管线建设工作。对于管道干线非开挖工程如盾构、顶管、HDD, 仅靠钻探对地质结构的判断是不够的, 对断层、变异岩体必须依靠准确精

细的物探。工程物探则主要是指地表以下100m以内的介质或异常体的结构、构造为研究目标。具有采样密度大、速度快、成本低等特点。本文通过实例论述基本工程物探方法: 浅层地震、电法勘探及电磁探测以及地质雷达。

当今世界上常用工程物探手段适用领域及分类对比如下(表1):

表1 常用工程物探对比表

物探手段	适用领域
浅层地震折射波	查明第三系、第四系盖层厚度, 潜水面或基岩埋深以及构造控制
浅层地震反射波	探明地层界线、含水层界线及断层褶皱等构造控制
电阻率剖面法	地质填图、追踪断层破碎带、探查岩溶发育情况及下伏基岩的起伏展布
电阻率测深法	划分小倾角岩层节点、探查基岩起伏、埋深、风化岩厚度等; 确定含水层厚度、埋深; 探查地质构造
电磁勘探	地质填图; 地下水展布; 划分岩性阶段; 地下暗河; 城市地下电缆和金属管道探测
地质雷达	断层滑移面的位置及含水性

1 浅层物探法在管线穿越滑坡体发育区的应用

长输管线常常穿越山区, 也就是滑坡多发育区, 对于滑坡体稳定性的研究就显得尤为重要。通过浅层工程物探对滑坡体几何形态、构造情况等参数研究可为其稳定性计算及治理方案提供有力证据。滑坡体物探研究的主要目的是判断工区地层岩石物理性质、地质构造构成滑坡的物质基础和地质环境, 层面、断裂等软弱构造面形成的滑坡面和切割面。现通过某工程滑坡体勘察实例来解释滑坡体物探的常用方法。

某工程工区山体较陡, 上部平台覆盖有第四系粘土、碎屑物, 且该工区降雨丰富, 为滑坡多发区。由于覆盖层与风化层以及风化层与基岩之间可能存在波速差异和电性差异, 现采用浅层地震波、高

密度电法以及探地雷达进行物探工作。

高密度电法是利用地下岩体电阻率等值线图来反应岩石土体的界面形态。图1为该工区电法勘探的结果。可见地层可分为电性明显不同的三层, 最浅部为电阻率较高的覆盖层, 中间是由于滑坡面的存在而破碎、集水的低阻层, 该层的底界面对应滑坡面, 最下面为相对高阻的基岩。

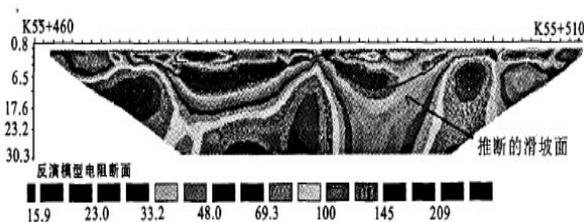


图1 某工区高密度电法等值线图

地质雷达又称为探地雷达, 是利用高频电磁脉

收稿日期: 2014-03-28

作者简介: 高怡然(1987-), 男, 江苏徐州人, 助理工程师, 研究方向: 管道施工及输油输气管理。

冲波的反射来探测地质体的,当发射天线向地下定向发射宽频带电磁波时,其天线接收到地质体的反射波。当发射天线沿探测体表面移动就能得到其内部剖面图。图2为该工区地质雷达解释结果。可见在A-B间存在暗色反射,深度约7m左右,说明该层因含水反射振幅变小,从而显示暗色;而基岩则表现出强反射,为亮色。暗色区域是由滑坡面引起的。

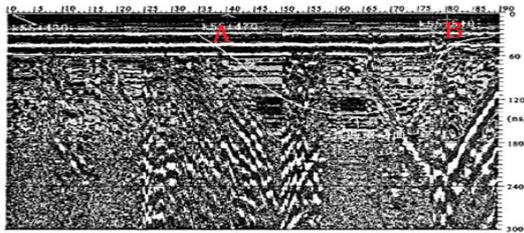


图2 某工区地质雷达剖面

该工区所用浅层地震波为瞬态瑞雷波法,是用锤击震源产生一定频宽的瑞雷波,在面波记录仪中记录面波信号,通过处理分析得到面波速度与深度的变化曲线—频散曲线。根据曲线变化规律确定地层层数及厚度。图3为瑞雷波地震解释结果。可见浅部速度较低,随深度增大,速度增大且出现明显扭转,然后继续增大,说明第一层速度较低,第二、三层速度较高,二、三层间存在明显弹性突变界面。

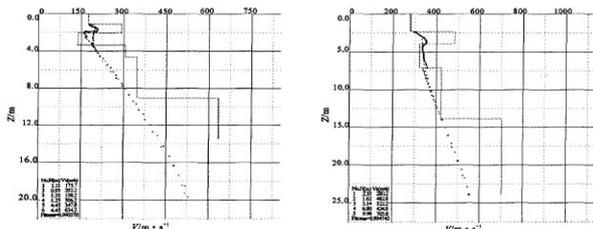


图3 某工区浅层地震波速度剖面

综合以上三种物探结果,结合区域地质资料判断第一层为滑坡粘土夹碎石土(2.5~3m);第二层为滑坡堆积碎石土(3.0~7.0m),第三层位轻微风化砂岩;二、三层间为滑坡面-滑床。

通过以上实例可知,高密度电法数据采集密度较大,可直观反映地下电性异常体的形态,进而定性确定滑坡体的位置;地质雷达所受限制较多,如能恰当选择天线频率,能准确判断滑坡面的位置;而浅层地震法则能对滑坡体岩性进行准确分层。综合利用各种物探手段,对滑坡体岩性、易滑脱面进行研究,可为滑坡稳定性计算提供依据,从而为管线设计中是否避开滑坡区提供依据。

2 浅层物探法在管线穿越隐伏断层发育区的应用

在管线非开挖工程如盾构、定向钻施工中,对于隐伏断层的判断尤为重要,且钻探工作往往很难做到,需要进行综合物探工作。现以某工程为例介绍在隐伏断层勘察中常用物探手段。

某工程工区地表出露岩性为薄层白云岩、灰岩、板岩及砂岩。区内构造较为复杂,断层发育,现已知区域性断层F1,中等断层F2、F3,但由于区内第四系覆盖较厚,无法判断F2、F3分布位置,采用高密度电法和浅层地震反射波法进行勘察。

浅层地震反射是由震源振动产生地震波在遇到弹性界面时产生反射,用检波接受该反射信号进行勘探。图4为浅层地震时间剖面和高密度电法等值线图。综合分析可见,在地震时深剖面中,130~180和310~322m处,同相轴明显错断、波组丢失或波组数目突然增多,对应断层F1和F2。电阻率等值线图上的相应位置为明显低阻区,认为是F1、F2断层破碎带含水导致的。

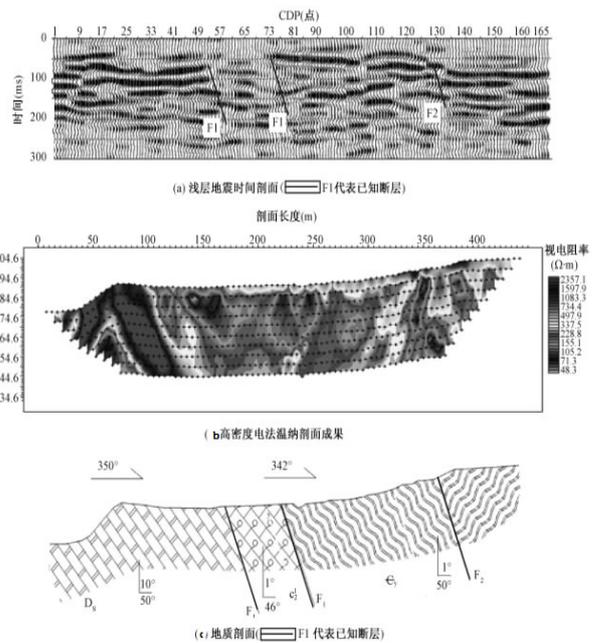


图4 某工区浅层物探结果

综上所述,浅层地震波法对地层分层界面、断层位置精度较高,但受地形影响较多,而高密度电法则可以确定断层破碎带的位置以及含水性。应按照不同物探手段的优缺点,针对不同地质情况选择合适的方法。

3 浅层物探法在管线穿越地质情况复杂山区的应用

随着西气东输、中缅管线等工程的施工,越来越多的长输管线经过地质构造复杂区。要查明管道穿越地层组成情况、基岩面的埋深及其起伏延伸

情况、地质构造和崩塌、滑坡等不良地质现象的发育情况对管道建设和今后的安全运营十分重要。

现以某段管线施工中的工程物探应用为例介绍浅层地震反射和频大地电测法。该工区位于断陷盆地,四周受高山与断裂所控制,工区以西露出白垩系地层,以东为第三系,上覆地层为第四系卵石与黄土。盆地内断裂构造纵横交错,沉积厚度变化大。

采用浅层地震反射法和频大地电磁测深来进行初期物探。而频大地电磁测深是利用频率丰富的天然电磁场为信号源,观测天然磁场四个水平分量的时间信号,计算出视电阻率。不同频率的视电阻率反映地下不同的电性变化,代表不同的岩性。

将地震资料进行反演得到时间剖面,信噪比较高,同相轴连续,反映了地层构造展布特征。将各测线能量较强,连续性较好的反射波进行对比追踪和标定,为T1,T2,T3。由浅至深按照波阻抗差异,波速变化范围600~2400m/s,反映了第四系黄土层内不同层积地层的速度变化特征。

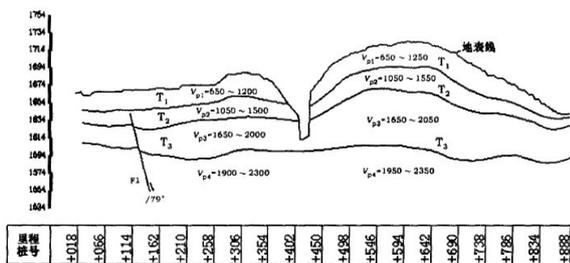


图5 地震资料反演结果

通过高频大地电磁测得到二维剖面图中可见,按照电阻率的变化可以识别出黄土层和卵石层。且上部黄土层横向变化西段较稳定,东段变化则较大,说明黄土中夹杂砂砾石等。

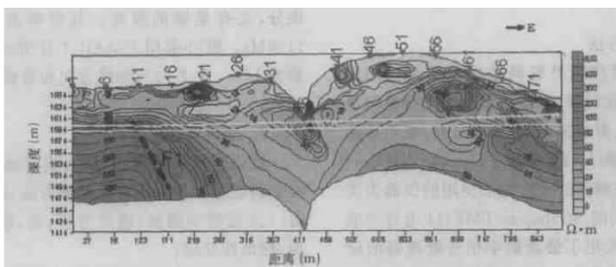


图6 电法勘探反演结果

将上述两种方法和已知资料综合解释得到下图。

工区地层分为黄土、卵石和基岩三层,剖面上自西向东基本水平分布,基岩自西向东倾斜,且在电磁结果中125~141m处电阻率线陡密,对于地震

剖面上也有显示,通过同相轴错段特征认为正断层,断距约4m、倾角为32°。

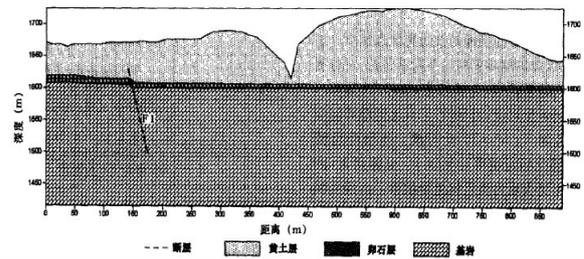


图7 工区综合物探解释

施工方依据物探结果对其原管道设计进行了变更,选择了更合理的施工走向并完成了施工索赔。如果在管道选址初期就能科学地采用浅层物探合理选址,将会大大节约管道建设成本和今后管道稳定运行的维护成本。

上述实例说明采用多种物探方法综合运用,才能准确的分析出看不见的地层结构,浅层地震反射在划分地层岩性、地下采空区,溶洞及地下水的分布范围等方面有绝对优势。综上所述,在管道施工穿越地质复杂区时,如果地层纵向岩性分层复杂,应采用浅层地震勘探法,如果地层断裂系统发育,破碎较多,应尽可能采用电法勘探。但是任何物探方法都有其局限性,最好能多种方法结合进行综合解释。

4 浅层物探法在管道江河穿越工程中的应用

管道要查明管道穿越地层的组成情况、河流两岸基岩面的埋深及其起伏延伸情况、地质构造及是否存在断层、错层、褶皱、节理并判断出相应的倾角、距离等。从而判断该区域是否可能存在不良地质的发育状况情况对管道穿越建设和今后的安全运营十分重要。大型江河管道穿越工程采用的物探方法同样是浅层地震反射法和频大地电磁测深来进行初期物探。在此我们就不再具体论述。

采用物探方法综合解释,浅层地震反射在划分地层岩性、地下采空区,溶洞及地下水的分布范围等方面有绝对优势。物探法能基本判断出地层断层、错层、褶皱、节理的位置、倾角、距离等具体参数,从而物探法能有效避免管道工程在穿越江河时遇见不良地质条件,并为选择管道工程穿越江河的位置提供准确的穿越地层条件。为调试泥浆配比、调整钻杆钻距等提供重要依据,为保障管道工程江河穿越施工提供了有力的技术支撑。

5 浅层物探法在城市管网中地下管线探测设计中的应用

城市地下管线层层交错,主要包括煤气、自来水、污水、暖气管线等。在城市管网施工过程中,应尽量避免损坏地下管线,需要进行工程物探。常用手段为高密度电法勘探,其采样间距小、速度快,可以满足地下管线勘测的高分率需求。

现以上海某公路地下管线电法勘探为例介绍城市管网施工的常用物探方法。研究区探测目标为地下埋设的排污混凝土管道,且部分被铁皮包裹。施工方设计4条测线来确定管线位置。

该区地质情况较简单,地表被第四纪地层所覆盖,岩性为粘土层,所探地下管线位于该层。水泥混凝土的管道电阻率远大于粘土电阻率,而铁皮的电阻率则低于粘土。图8为4条测线电法反演结果。

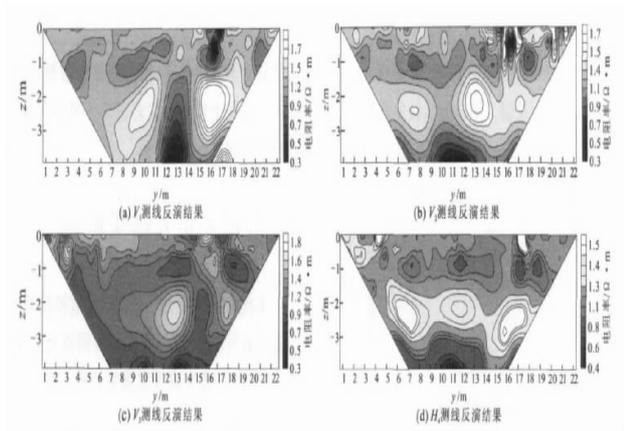


图 8 各条测线反演结果

按照图8反演结果,得到包铁皮管线的中心位置,且深度为3m。经开挖验证与推测平面分布位置和深度相吻合。经过物探法的测试,通过设计变更,施工方重新选取了施工线路,在工期内顺利完成了施工任务,并通过索赔获得了一定的收益。

由上例可知,电法勘探可以做到小点距、高分辨率、数据量大等特点,可以满足城市管网施工工期短、勘查目标地质体小等特点。在管道四公司长庆油田地面建设中,也采取了此物探手段,自开工以来尚未出现管道施工过程中,破坏其他地下管网的行为,取得了良好的经济效益。另外地质雷达也常用于地下管线的探测。

6 管道建设中浅层物探法综合应用的优势与总结

在管道施工过程中往往会穿越降雨较多的滑坡区、地下隐伏断层发育区等区域,采用传统钻探方法无法准确描述地质条件,此时选择物探方法探

测是对地层条件一种很有效的补充,它既能准确描述出地层界线,断层带的位置及分布,地下水的分布,滑坡体的稳定性等,为具体穿越选址、泥浆配比提供可靠的依据。

地质条件复杂的管道选址和施工中,浅层地震善于识别地层岩性的纵向分层、基岩的起伏及展布、地下空洞及地下水的分布范围;电法勘探擅长于识别与断裂带,断层断距及上下盘判定。城市管网施工中,电法勘探可以有效、快速识别地下管线的准确位置及埋深,避免出现管道施工过程中,破坏其他地下管网的现象。

因此通过浅层物探掌握工区准确地质结构情况,能够做出科学合理的管线设计,保证管道建设和施工顺利安全进行,也能取得如下效果:

第一,管道设计时,避免管道处于潜在地质灾害区,保证管道所处位置的地层稳定性,为管道的施工质量提供助力。

第二,可以避免管线施工遇到断层,减小施工风险。

第三,在穿越工程中,提供准确的地层条件,判断地层断层、褶皱位置,断层断距,上下盘位置及滑移面等具体参数,为调试泥浆配比、调整钻杆钻距等提供科学依据。

第四,通过准确设计,避免管线经过大面积断层区域、及地层不稳定区域、最大可能的管坡滑坡,并为管道施工质量提供助力,为后期运营提供安全保障。

第五,在城市管网密集段施工中,通过物探手段,准确确定地下管网的位置,合理设计管道走向,避免出现破坏其他管网的行为。

第六,物探方法综合解释,浅层地震反射在划分地层岩性、地下采空区,溶洞及地下水的分布范围等方面有绝对优势。

综上所述,物探法为管道在复杂地层、河流穿越及城市管网的施工设计和施工中的运用有重要的作用和意义。能够有效的探测管道所处地层的稳定性,为保障管道运行的安全性以达到提高管道施工的质量,以及避免施工中二次选址、施工变更等,从而有效的降低施工成本。随着科学技术的发展,物探手段将发生日新月异的变化,工程物探分辨率日益提高,我们应该将更多的新技术新方法用于管线设计和施工中,助力实现管道建设和发展的现代化、精细化、科技化,为管道的建设夯实技术基础。

注释及参考文献:

- [1]周天福,工程物探[M].北京:中国水利水电出版社,1997.
- [2]刘云祯.工程物探新技术[M].北京:地质出版社,2006.
- [3]张守恩,葛宝堂.水文及工程地球物理勘探[M].北京:中国矿业大学出版社,1997.
- [4]靳洪晓,赵永贵,李勤,等.地面地震CT在浅层勘探中的应用[J].工程地质学报,2000,8(2):239-243.
- [5]蒋维平,孟宪民.地震反射波法在浅层勘探中的应用[J].中国煤炭地质,2008,20(9):59-67.
- [6]陈日东,秦敏,张华为.高密度电法勘探在长输管道工程中的应用和问题[J].中外建筑,2009(6):233-235.
- [7]朱德兵.工程地球物理方法技术研究现状综述[J].地球物理学进展,2002,17(1):163-170.
- [8]赵晓鸣,何兰芳,张恩力.综合地球物理勘探在输气管道勘查中的应用[J].物探装备,2004,14(2):122-125.

On Shallow Geophysical Prospecting Technology Improve the Application of Construction Safety in Pipeline Construction Effectively

GAO Yi-ran¹, XIE Meng-qing², GAO Zhen-qing³, LI Gong-ke²

(1.China Oil Group Southeast Asia Pipeline Limited Company, Beijing 010000; 2.China Petroleum Pipeline Bureau fourth Engineering Branch, Langfang, Heibei 065000; 3. China Petroleum Pipeline Inspection Technologies co.,LTD, Langfang, Heibei 065000)

Abstract: With the rapid development of national economy, pipeline has become an important approach to transport oil and gas. In recent years, our country paid great attention to develop the construction of long distance pipeline. It is not enough to know the geological structure by drilling work in the HDD engineering(shield tunneling, pipe jacking, HDD, etc.). More geophysical exploration should be done about the faults, the special rock etc. This article is about the current engineering geophysical prospecting method in pipeline construction, especially the shallow seismic reflection method, the resistivity method and geological radar. But due to the limitations of geophysical exploration, the actual construction process should be a variety of geophysical methods, the combination of geophysical exploration combined with shallow drilling, in order to interpret the geological conditions accurately, to lay a good foundation of the piping construction and the safe operation in future.

Key words: Piping construction; engineering geophysical exploration; shallow seismic reflection method; resistivity method