

声波传播特性的地下管线探测技术研究

沈杨 胡义满

南通市测绘院有限公司

摘要: 由于地下管线具有较强的隐蔽性,给工作人员进行维护和日常探测增加了困难,为了更准确地探测地下管线空间位置信息,需要积极采用一种非开挖管线探测技术。文章阐述了声波传播基础理论和地下管线探测技术,以某城市地下雨水管线探测工程为例,探讨了基于声波传播特性的地下管线非开挖探测,通过在具体工程实践中确定探测设备和探测原理,分析探测结果,进行现场开挖,验证了该方法的准确性,提高了探测的准确率和效率,旨在为进行地下管线探测提供参考和借鉴。

关键词: 声波传播; 地下管线; 探测技术; 非开挖探测

【DOI】10.12252/j.issn.2096-6288.2022.11.226

引言

地下管线是城市基础设施的重要组成部分,对于保障城市正常运行和居民生活具有重要意义。然而,由于地下管线复杂多变,且具有较高的隐蔽性,传统探测方法因存在精度不高、效率低下等问题,难以准确探测地下管线的病害位置及深度。因此,研究新的探测技术以提高地下管线探测的准确性和效率成了一个重要课题。基于此,本研究利用声波传播特性进行地下管线探测,通过深入分析声波在地下管线中的传播规律,为地下管线探测提供新的思路和方法。

一、声波传播基础理论

(一) 声波的基本性质

声波是机械振动在介质中的传播,其基本性质包括波动性、能量特性、反射、折射和干涉以及衰减。

(1) 波动性: 声波是一种波动现象,其传播遵循波动方程。波动方程描述了声波在介质中的传播规律,包括声波的振幅、频率、相位等参数,这些参数的变化决定了声波的传播方向和速度。(2) 能量特性: 声波携带能量,其能量与频率和振幅有关。频率越高,振幅越大,声波携带的能量就越多。在地下管线探测中,声波的能量特性对于确定探测深度和分辨率具有重要意义。

(3) 反射、折射和干涉: 当声波遇到不同密度的介质时,会发生反射、折射和干涉现象。反射是指声波在遇到界面时返回原介质的现象;折射是指声波在遇到界面时传播方向发生改变的现象;干涉是指两列或多列声波相遇时,产生相互加强或减弱的现象。这些现象对于地下管线探测中的信号处理和图像重建具有重要影响。

(4) 衰减: 声波在传播过程中,会因介质的吸收、散射等原因而逐渐衰减。衰减程度与介质的性质、声波频率、传播距离等因素有关。在地下管线探测中,衰减是影响探测深度和分辨率的重要因素之一。基于声波的基本性质,在对地下管线进行探测过程中,需要综合考虑

这些因素,选择合适的探测方法和参数,以提高探测精度和效率。

(二) 声波的传播模式

声波的传播模式主要包括纵波传播、横波传播、表面波传播以及声波的传播速度。这些传播模式决定了声波在介质中的传播特性和行为。其一,纵波传播: 当声波的振动方向与传播方向一致时,称为纵波传播。在固体介质中,纵波传播速度较快,这是因为固体介质具有较高的密度和弹性常数,使得声波在固体中的传播速度较快。在地下管线探测中,纵波传播常用于固体介质中的探测,如混凝土、土壤等。其二,横波传播: 当声波的振动方向与传播方向垂直时,称为横波传播。在液体和气体介质中,横波传播速度较慢,这是因为液体和气体介质具有较低的密度和弹性常数,使得声波在其中的传播速度较慢。在地下管线探测中,横波传播常用于液体和气体介质中的探测,如水、气体管道等。其三,表面波传播: 当声波在两种介质的交界面上传播时,会在交界面上产生表面波。表面波的传播速度介于纵波和横波之间。表面波的产生是由于两种介质的密度和弹性常数不同,导致声波在交界面上发生反射和折射而产生的。在地下管线探测中,表面波传播常用于探测不同介质交界面上的管线,如土壤和混凝土之间的管线等。其四,声波的传播速度: 声波在介质中的传播速度与介质的密度、弹性常数等有关。在固体介质中,声速较高;在液体和气体介质中,声速较低。这是因为固体介质具有较高的密度和弹性常数,使得声波在其中传播的速度较快;而液体和气体介质具有较低的密度和弹性常数,使得声波在其中传播的速度较慢。在地下管线探测中,声波的传播速度对于确定探测深度和分辨率具有重要意义。

二、地下管线探测技术

(一) 电磁感应法

电磁感应法是一种基于电磁原理的地下管线探测技术。其基本原理是利用电磁场在地下管线中产生感应电流，从而在管线周围产生二次电磁场，通过测量和分析这个二次电磁场的分布和变化，确定地下管线的位置、走向和深度等信息。

电磁感应法的优势在于：一是，电磁感应法设备简单，操作方便，不需要复杂的准备工作；二是，相对于其他探测方法，电磁感应法的设备成本和运行成本都较低；三是，电磁感应法可以探测到较深的地下管线，对于一些埋深较大的管线也能进行有效的探测。虽然电磁感应法具有一系列优势，但是在具体应用过程中，也存在一些局限性：一是，不同材质的管线对电磁场的响应不同，会影响探测结果的准确性。二是，随着埋深的增加，电磁场的强度和分布会发生变化，对探测结果产生影响。三是，周围环境的电磁干扰可能会影响探测结果的准确性，需要采取相应的抗干扰措施。基于电磁感应法具有的优势和弊端，在进行地下管线探测时，应结合工程具体情况选择合适的探测技术。

(二) 地质雷达法

地质雷达法是一种利用高频电磁波在地下介质中传播并反射回地面的原理进行地下管线探测的技术。通过发射高频电磁波，使其在地下介质中传播，当遇到地下管线时，电磁波会在管线上产生反射，然后反射回地面。通过测量和分析反射回的电磁波信号，可以确定地下管线的位置、走向和深度等信息。地质雷达法具有的优点为：地质雷达法可以获得高分辨率的图像，能够清晰地显示地下管线的位置和走向；地质雷达法对周围环境的干扰具有较强的抗干扰能力，能够减少干扰对探测结果的影响；地质雷达法适用于复杂地层和埋深较大的地下管线探测，能够获得准确的探测结果。另外，地质雷达法也存在一些局限性：不同材质的管线对电磁波的反射特性不同，可能会影响探测结果的准确性；地质雷达法的操作需要较高的技能水平，需要操作人员具备丰富的经验和技能。在具体应用过程中，应该综合考虑地质雷达法的优势和不足合理进行选择。

三、基于声波传播特性的地下管线非开挖探测

(一) 工程概况

某城市地下雨水管线作为城市排水系统的重要组成部分，对于城市的排水和防洪具有重要意义。由于管线长期受到车辆碾压和水流冲击等因素的影响，管线的变形和病害问题逐渐凸显，需要及时进行检测和修复。为

了解决这些问题，需要采用先进的探测技术对地下雨水管线进行详细的探测。通过探测，确定管线的变形情况和病害发生的位置和深度，为后续的修复工作提供准确的数据支持。在探测过程中，需要根据地下管线的实际布置情况选择合适的探测方法和参数，以确保探测结果的准确性和可靠性。同时，还需要注意保护周围环境和设施，避免对周围环境造成不良影响。

(二) 探测设备和探测原理

基于声波的地下管线探测方式是一种通过人工激发声波信号，然后对这些声波信息进行处理，从而获得地下管线信息的方法。其原理是通过人工方式主动激发声波，这些声波在地下管道中传播时，会遇到管道的病害位置，从而产生反射和折射等效应。通过对接收到的声波进行处理，可以提取出这些反射和折射信息，从而确定地下管线的病害位置和深度。该声波探测技术的激发方式一般分为地面激发和管道激发两种。地面激发是指通过在地面上安装发射器，向地下管道中发射声波信号；而管道激发是指通过在管道中安装激发器，向管道内部发射声波信号。这两种激发方式各有优缺点，需要根据具体情况选择适合的方式。在探测过程中，需要选择合适的探测设备和参数，以确保探测结果的准确性和可靠性。

该研究采用声波振动式地下管道探测器，根据通道的自由振动特性，利用管线上地震动信号和激发流体波的形式探测管线的病害位置。发射器发出探测声波，一部分声波传递到地面，被接收器接受；一部分经地下管道传播的声波，激发管道振动形成了初始波。通过对接受到的声波进行处理，获取地下管理的相关信息。

(三) 探测结果

一是，管线方向探测。地面布设相应的测量点，经过测量之后获得每个点的相位信息和位移的幅值。通过对液体传播速度进行探测，得知波速为482m/s，通常情况下，理论值与获得的实际测量结果具有一致性，经过观察发现在110Hz的低频率下会产生反射波动，这说明采用的地下探测技术激发了管线液体波。此外，在200Hz频率下，管线液体波被激发之后，沿着管线向地面传播，到达地面后，辐射声波引起土壤振动。与此同时，由于地面属于自由表面，地面上的弹射波会发生反射，管线下方的完美匹配层反射。PML完美匹配层(perfectly matched layer, PML)是一种层状吸收边界条件，它可以实现对向外发出的电磁波的完全吸收而没有反射，可以实现对无限空间的近似，有效界定计算区域，将无限空间等效为有限空间，在电磁计算及仿真

中具有重要意义。

二是，管线漏损成像。在地下管线漏损成像过程中，声波探测技术发挥着重要的作用。通过声波探测技术，可以对地下管线的漏损情况进行准确的探测和定位。在声波探测过程中，振动幅值是反映地下管线漏损情况的重要参数。通过对180Hz和190Hz的振幅图进行观察，可以确定振幅轮廓的频率范围，推断出地下管线的漏损情况。管线漏损可以看作是轴对称流体波的点源。这种点源会产生特定的声波信号，能够被声波探测器所接收。通过对接收到的声波信号进行处理和分析，确定地下管线的漏损位置和深度。在观察过程中，由于PML对于反射难以吸收，导致管线两端出现了反射现象，而在130Hz、170Hz和200Hz上没有找到电源，这是因为这些频率的声波信号被其他因素所干扰或者被吸收。

（四）现场开挖与验证

第一，密封性试验。在现场开挖过程中，为了确保试验的准确性和安全性，工作人员选择了一个操作空间较大、开挖规模较小的场所进行密封性试验。该场所的管线外径为80cm，埋深为1.8m。在试验中，分别对正常管线和受损区域进行了密封测试。测试结果显示，管底的密封度为0.85，管顶0.5m处的密封度为0.77-0.79，管侧20cm处的密封度为0.75-0.80。根据这些数据，可以发现该区域存在脱空病害。脱空是指管道内部或外部因各种原因导致空洞或空隙的出现，这会严重影响管道的密封性和使用寿命。在本次试验中，共检测出了三处脱空病害，需要引起工作人员的高度重视。

第二，取样钻孔测试。钻孔测试过程中钻孔数量为4个，孔深为8-10m。在位于3m以下位置的钻台上获取的岩芯样本具有较高的完整度。通过对该场所土质进行测试，结果显示，土质压缩模量在3.14-5.48 MPa之间。另外，对钻孔获取的样本进行了现场测试，测试结果显示，土壤的腐蚀度处于中度状态，其pH值为5.09。

第三，场管材取样测试。对于双壁波纹管，需要对其外部尺寸进行检查，以确保其符合设计要求。对于混凝土管线，需要对其强度和分布进行检查，以确保其能够承受预期的压力和满足设计要求。根据规范要求，直径为80cm的波纹管格，其最小壁厚应大于或等于4.1mm。为了验证这一要求，从现场选取了4根塑料排水管作为检测对象，对其进行了测试。

第四，验证结果。在地下管线探测中，通过声波探测和开挖探测获取的结果为：（1）脱空数量上，声波探测和开挖探测的结果一致，都为30出脱空病害；（2）脱空位置方面，声波探测结果为1.3m；2.7m；

4.8m，开挖探测结果为1.1m；2.5m；5m，经对比，两种探测结果存在的偏差为0.2m；（3）管线走向方面，声波探测结果为北偏西60°，开挖探测的结果为北偏西60°，两种探索结果一致；（4）渗漏位置方面，声波探测结果为3.4-4.0m，开挖探测结果为3.6m，经对比，两种探测结果存在较大的偏差，分析其原因是由于管线运输物质在出现渗漏问题之后，对土体信号的传播和反射造成了影响，从而使得声波探测技术在探测时无法获取准确的数据，只能获取范围值；（5）在管线埋深方面，声波探测结果为1.2-1.8m，开挖探测结果为1.1-1.9m，经对比之后发现，声波探测结果的最大值和最小值相差为0.6m，开挖探测结果的最大值和最小值相差为0.8m，这是由于该区域的土壤出现了沉降现象，导致埋深深度也随之出现了相应的变化，使得整根管线的埋深出现了差异，然而这一变化不会对管内流体的流动性产生影响。从整体的开挖验证结果来看，脱空数量和管线走向保持一致，脱空位置、渗漏位置存在的差异较小，管线埋深基本上一致，由此可证明本研究提出的基于声波传播特性的地下管线探测技术具有准确性，可以应用到城市地下管线探测工程中。

结束语

综上所述，在城市地下管线探测过程中可以应用多项探测技术，其中基于声波传播特性的地下管线探测技术是其中一项重要的技术，通过实验和分析，发现声波在地下管线中具有良好的传播特性，可用于探测地下管线的位置和深度，能够为城市建设发展提供重要的技术支持。然而，研究仍存在不足，对声波传播特性的研究不够深入。未来研究将深入研究声波与地下管线之间的相互作用机制，结合其他探测技术提高综合性能。随着科技的不断进步和创新，声波传播特性在地下管线探测中的应用将更加广泛和深入。

参考文献

- [1] 刘华雄. 复杂条件下城市地下管线探测技术分析[J]. 低碳世界, 2022, 02.
- [2] 邵华勇. 探析地下管线探测工作中的电磁感应技术[J]. 中国高新科技, 2021, 19.
- [3] 刘奕青. 城市区域复杂条件下的地下管线探测技术探究[J]. 流体测量与控制, 2022, 05.
- [4] 杨路明. 城市地下管线探测与管理技术的发展分析[J]. 中国新技术新产品, 2020, 16.
- [5] 吕猛. 基于声波传播特性的地下管线探测技术研究[J]. 中国新技术新产品, 2022, (23): 126-128.