

井中磁梯度法在地下障碍物探测中的应用

王江杰

上海市岩土工程检测中心有限公司

摘要: 为了使城市空间得到更加有效利用,城市地下管道(含综合管廊、共同沟)、地下隧道、城市地下停车场及综合体等地下工程建设越来越多,在原有地下环境复杂的区域进行工程设计、施工时,难以避免会碰到各类地下障碍物。在项目前期尽可能通过各种调查和探测手段掌握施工工区内地下障碍物的分布情况,从而减少对施工进度和施工安全造成不利影响十分必要。本文通过介绍井中磁梯度法的基本原理,并结合大口径钢筋混凝土管道、地下隧道、桩基(钢板桩、预制桩、灌注桩)以及建筑物地下室等不同类型地下障碍物探测工程实践,阐述了运用井中磁梯度法在探测地下障碍物中的应用效果及前景。

关键词: 磁梯度;管道;隧道;障碍物;地下室

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.06.091

引言

地下工程施工过程中遇到的地下障碍物较为常见的有既有或拆除房屋基础(浅部混凝土基础、深部桩基础)、建筑物地下室、地下管道(含综合管廊、共同沟)、地下隧道、各种桥梁基础以及河道防汛墙基础等,在施工前期查明这些障碍物的分布情况,可以采取有效的清障或者绕避措施,最大限度地降低障碍物对工程施工的影响。

传统的地下障碍物探测方法有地质雷达法、地震映像法、瑞雷波法、高密度电阻率法等,这些物探方法均要求探测目标物具有一定的几何尺寸,且对于深埋障碍物的分辨能力受限,探测精度低,往往不能直接满足工程施工要求。

井中磁梯度法是利用观测目标物中含有的铁磁性物质引起的磁异常来确定目标物的分布情况。该方法应用于地下障碍物探测,垂直地面方向基本不受地下障碍物深度的限制,因此能较好地适用于地下障碍物底部深度的探测;同时也可作为辅助手段,通过多井观测确定地下障碍物的方位,再结合钻孔触探的方法探明地下障碍物的准确边界。

一、井中磁梯度法基本原理

磁场理论研究认为地磁场由基本场(98%)、外源场和磁异常组成,地球表面正常分布的磁场强度随距离的变化呈梯度分布,且具有周期性变化的特点^[3]。磁法勘探观察的是相对有限空间、某一时刻地磁场的变化,因此在均匀无铁磁性物质的土层中,地磁场的磁场强度可以近似为均匀不变的,而如果在铁磁性物质存在时,受地球磁场的磁化作用,将会在其周围产生较强的感应磁场,从而形成磁异常。

大口径钢筋混凝土管道、地下隧道、桩基(预制桩、灌注桩)、建筑物地下室等地下障碍物结构内部均含有钢筋,钢筋为强铁磁性物质,而铸铁或钢材质的金

属管线本身就是铁磁性物质,均可运用井中磁梯度法观测临近这些目标物钻井中的磁场强度垂直分量(Z_a)-深度(H)变化曲线的特征,可以有效确定其空间分布。

二、井中磁梯度法在大口径钢筋混凝土管道探测中的应用

四川眉山职业技术学院二期工程新建东坡文化传承中心场地内的泄洪涵管为两根并排的DN1200圆形钢筋混凝土管,管道间距约1.5米,因修建年代较久,当时对竣工图等相关工程竣工资料绘制、存档、保存上未引起足够重视,导致施工单位收集的竣工图上反应的涵管走向、定位与现场了解下来的情况出入甚大,未能如实反应实际施工情况,从广场上预留有检修井往下观测,管道顶部埋深约6.8米。新建东坡文化传承中心基础采用钻孔灌注桩,需要在设计阶段确定管道的分布情况,以便进行合理避让。

依据历史资料调查分析结果,结合现场实际情况,大致沿涵管走向垂直方向布设4条断面,共计20个钻孔,单孔深度约10米。每个断面钻孔由两侧向中间施工,直至磁梯度值有明显变化时停止。钻孔平面位置分布见图1。

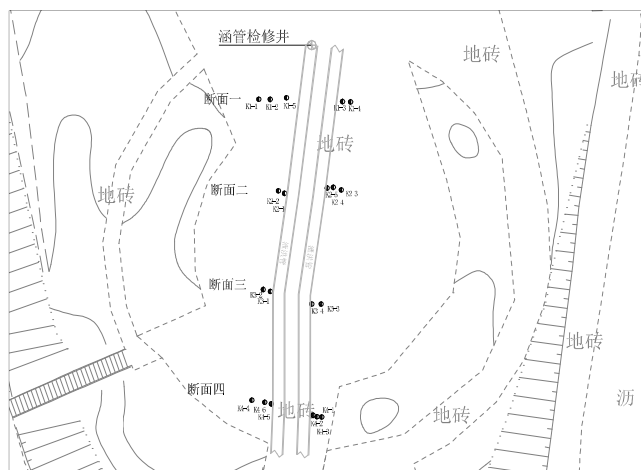


图1 拟建东坡传承文化中心区域磁梯度孔布置示意图

①断面一: 钻孔自西向东依次为K1-1、K1-2、K1-5、K1-3、K1-4,经磁梯度测试,靠近K1-5、K1-3,磁梯度值变化最大,表明管道位于K1-5、K1-3两孔之间,管顶埋深约6.8m。

②断面二: 钻孔依次为K2-2、K2-1、K2-5、K2-4、K2-3,经磁梯度测试,靠近K2-1、K2-5,磁梯度值变化最大,表明管道位于K2-1、K2-5两孔之间,管顶埋深约4.9m。

③断面三: 钻孔依次为K3-2、K3-1、K3-4、K3-3,经磁梯度测试,靠近K3-1、K3-4,磁梯度值变化最大,

表明管道位于K3-1、K3-4两孔之间，管顶埋深约4.8m。

④断面四：钻孔依次为K4-4、K4-6、K4-5、K4-2、K4-3、K4-1，经磁梯度测试，靠近K4-5、K4-2，磁梯度值变化最大，表明管道位于K4-5、K4-2两孔之间，管顶埋深约3.9m。

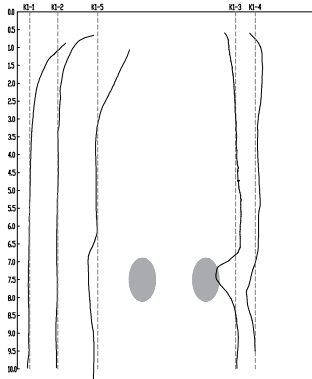


图2 断面一磁梯度测试成果图

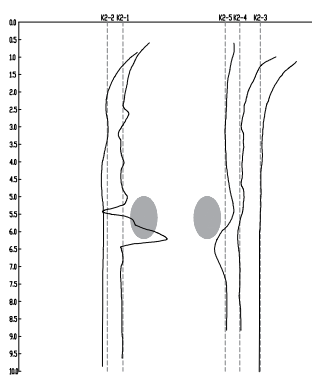


图3 断面二磁梯度测试成果图

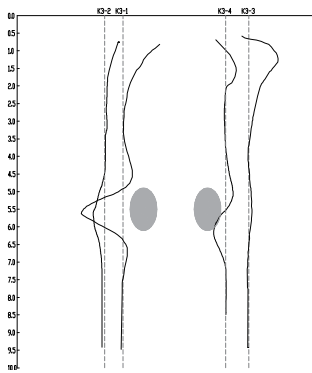


图4 断面三磁梯度测试成果图

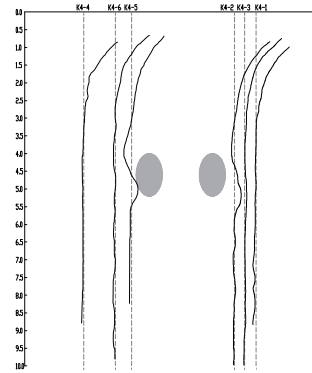


图5 断面四磁梯度测试成果图

三、井中磁梯度法在地下隧道探测中的应用

根据前期收集资料，黄浦江防汛墙及亲水平台改造工程钻孔灌注桩施工区域内的黄浦江外滩观光隧道隧道外径为7.5米，隧道中心线大致位置已知，具体深度不详。为满足区域内钻孔灌注桩施工避让要求，需要探明隧道的准确边界及深度。由于探测时场地正在施工，地表障碍较多，且靠近黄浦江区域地下抛石较厚，地震映像、地质雷达等反射波方法难以取得理想效果，同时地表硬地坪较厚，高密度电阻率法电极无法布置。

为了保证探测精度，本工程先采用井中磁梯度法确定隧道的大致深度和方位，而后采用水冲法触探的方式对隧道边界和深度进行确定。图6所示CS1~CS3对应井中磁梯度测试位置，CT1~CT6对应水冲钻孔位置。

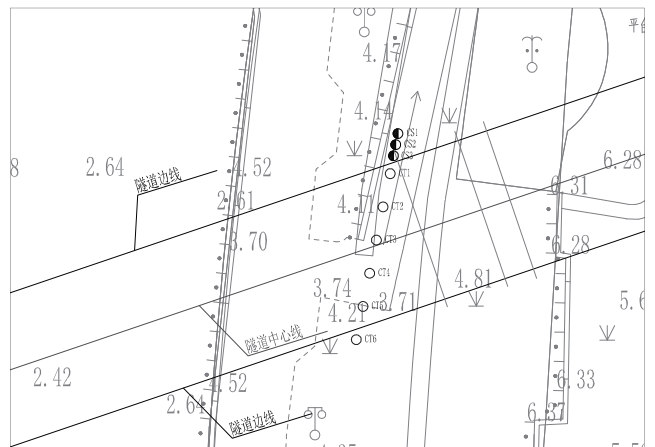


图6 断面四磁梯度测试成果图

根据CS1~CS3井中磁梯度探测结果，16.0米以浅区域为老防汛墙桩基础的反应，本次探测的隧道中心埋深介于23.5米~23.80米之间，且隧道北侧边界更靠近CS3位置，为下一步CT1~CT6触探孔的设计位置和深度提供

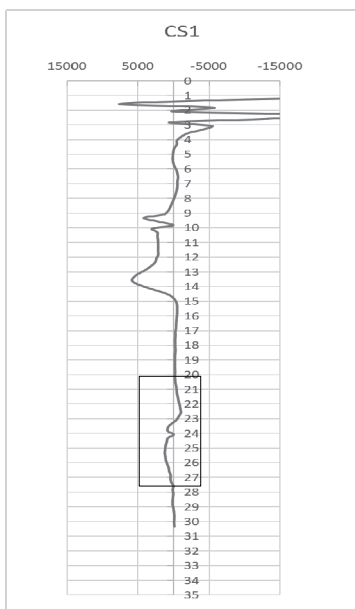


图7 CS1孔磁梯度测试曲线

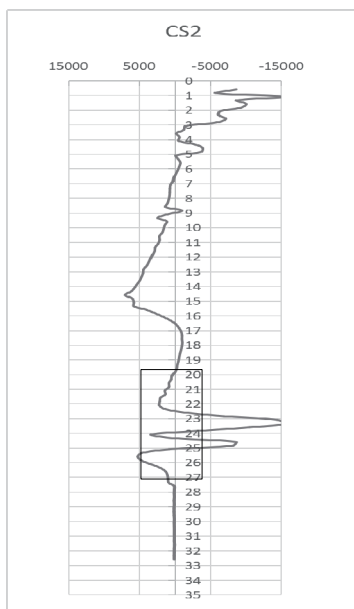


图8 CS2孔磁梯度测试曲线

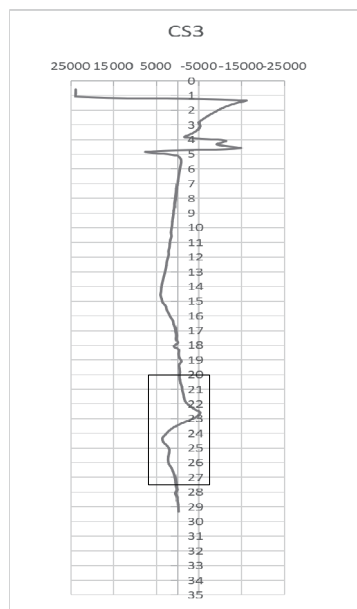


图9 CS3孔磁梯度测试曲线

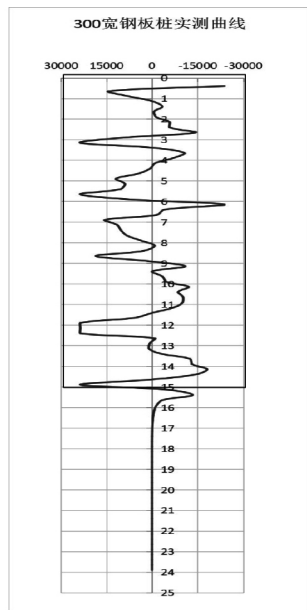


图10 钢板桩实测曲线

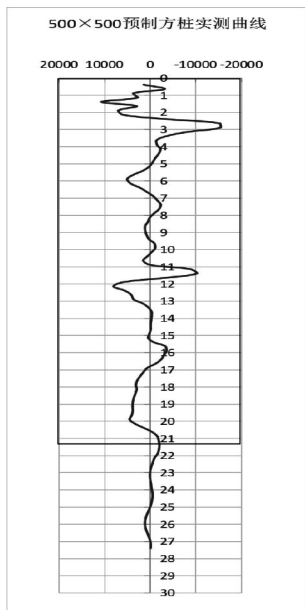


图11 预制方桩实测曲线

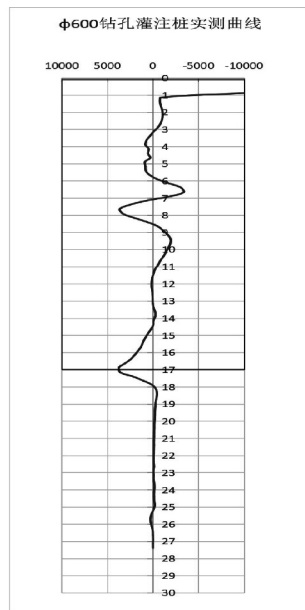


图12 钻孔灌注桩实测曲线

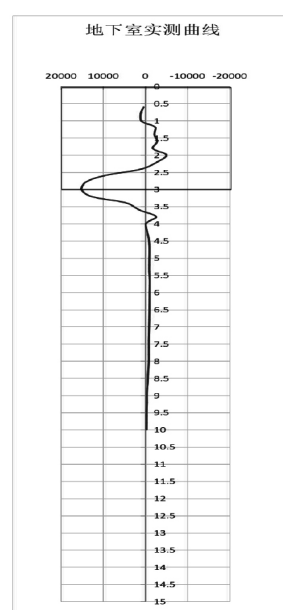


图13 民防地下室实测曲线

了指导，最终实现准确探明隧道边界和深度的目的。

四、井中磁梯度法在桩基探测中的应用

桩基是一种古老的基础型式，桩工技术经历了几千年的发展过程，无论是桩基材料和桩类型，或者是桩工机械和施工方法都有了巨大的发展，已成为现代建筑常用的基础型式，常用的桩型主要有预制钢筋混凝土桩、预应力钢筋混凝土桩、孔灌注桩、人工挖孔灌注桩、钢板（管）桩等。在存在桩基的区域进行其他地下工程施工时，预先采取避让或清障措施十分必要，例如在地铁设计线路上存在深部桩基时，盾构将很难穿过，因此需要探明桩基的准确长度，为制定合理的避让或清障方案提供依据。

①图10为某地铁盾构穿越合流污水顶管工作井围护残留300宽钢板桩的井中磁梯度探测结果，显示钢板桩长度约15.0米。

②图11、图12为某新建工程场地内原有建筑物残留桩基础的井中磁梯度探测结果，显示500×500预制方桩长度约21.2米，φ600钻孔灌注桩长度约17.0米。

五、井中磁梯度法在建筑物地下室探测中的应用

建筑物地下室的平面分布一般可以通过地质雷达、地震映像、高密度电阻率法等手段进行确定，但是这些物探方法不能解决地下室的底部深度问题。一般情况下，地下室的侧墙和底板均含有钢筋，通过井中磁梯度法探测钢筋的磁异常，可以确定民防地下室的底部埋深。

图13为某新建工程场地内残留地下室探测结果，显示地下室底部深度约3.0米。

六、结语

在大口径钢筋混凝土管道、地下隧道、桩基及建筑物地下室等探测工程的应用实践表明井中磁梯度法相比

于其他传统物探方法具有可操作性强、探测精度高的优点，且不受障碍物理设深度限制，可以有效解决多种类型地下障碍物的探测问题，在建设工程领域发挥着重要作用，具有比较好的应用前景。

参考文献

- [1] 油新华, 何光尧, 王强勋, 等, 我国城市地下空间利用现状及发展趋势[J], 隧道建设, 2019, 39(2).
- [2] 管志宁, 地磁场与磁力勘探[M], 地质出版社, 2005.
- [3] 张虎生, 张炎孙, 蒋喜珍, 等, 物探在工程勘察中的应用-在建工程场地地下障碍物(或洞穴)地质雷达探测[J], 江西地质, 2001, 15(3).
- [4] 陈军, 陈泽元, 杨川, 等, 基于深埋管线探测中的井中磁梯度方法[J], 地球科学-中国地质大学学报, 2015, 40(12).
- [5] 蒲晓轩, 董平, 孙斌, 等, 灌注桩钢筋笼磁异常定量计算, 物探与化探, 2009, 33(4).
- [6] 万明浩, 费函昌, 吴健生, 等, 地质雷达探测地下障碍物的技术方法及应用效果[J], 上海市政工程, 1996, (3).
- [7] 张久文, 地震影像与瑞雷波法在探测地下障碍物中的应用[J], 安徽地质, 2011, 21(4).
- [8] 张建志, 高密度电阻率法在地下人防工程探测中的应用[N], 中国地球物理学学会第十八届年会论文集, 2002.

作者简介:

王江杰(1988-), 男, 汉族, 安徽安庆人, 本科, 工程师, 主要从事工程地球物理探测工作。