

# 地下管线探测位置偏离与修正

□ 湖北大学资源环境学院 (430062) 袁厚明

□ 襄阳震柏地下管线检测有限公司 (441021) 袁晓华

**摘 要:** 本文介绍了管道探测位置偏离的危害、介绍了几种电流磁场分布, 并就地下管道探测位置偏离的原因进行了分析、对地下管道探测位置偏离的判断方法, 地下管道探测位置偏离的修正方法进行了详细说明, 最后列举了应用实例。

**关键词:** 地下管道 探测位置 偏离 修正方法

## 1 地下管道探测位置偏离的危害

探测地下管道往往都是在地表进行, 众所周知, 同种的电互相排斥, 异种的电互相吸引; 对于地下载流管线的电磁场探测, 同样存在排斥与吸引的问题。探测地下管道主要是在地表探测由管线上电流产生的等效磁场, 包含有管线电流大小与方向的问题, 检测者往往都是用仪器在地表拾取信号, 这就不能用两根导体之间的电磁场关系直接求解, 而是通过电磁场的三角函数关系换算求解, 加之电磁场具有矢量场特性, 地下管道的空间分布会随着检测人员的探测前进, 电磁场也将随着时空的变化而变化; 求解地下管线电磁场问题的复杂性是不言而喻的。

在CJJ61—2003中3.012条第一款明确规定: 地下管线隐蔽管线点的探测精度: 平面位置限差  $\delta_{ts}: 0.10h$ ; 埋深限差  $\delta_{ts}: 0.15h$ 。(h为地下管线的中心埋深, 单位为cm。当 $h < 100\text{cm}$ 时, 则以 $100\text{cm}$ 代入计算)

在地下管道探测实践中, 往往发生不达标程中规定的精度, 使得业主按照探测位置开挖时挖不到管道, 浪费了大量的人力物力。

在以定向穿越非开挖施工方式安装地下管道迅速发展的形势下, 由于管道位置探测不准, 顶破原有

地下管道、地下电缆、地下光缆的事故时有发生, 给国民经济造成巨大损失, 影响了通信、照明与居民生活。尤其是在顶破油气管道, 输送化学危险品管道的情况下, 发生泄漏, 引起爆炸, 危害人民生命财产安全, 污染环境等次生灾害。

管道探测位置的偏离与修正技术已经引起相关部门的高度重视; 以下笔者就地下管道探测位置的偏离因素与修正方法进行讨论。

## 2 几种电流磁场分布

地下载流管线的形状决定了地表的电磁场分布形状, 这是我们在地表可以检测判断管道故障的理论基础。例如, 有规律扭绞的导线在地表上方形成的电磁场如图1。

在地下电缆故障点探测中, 利用信号沿电缆路径的信号节距变化探测电缆路径, 由于电缆的三芯是扭绞在一起的, 不论接收时采用峰值法还是谷值法, 在采用相相接法时, 当探头沿电缆路径移动时, 接收到的信号将会形成有节奏的强弱变化, 显示器上显示的波形幅值及监听到的声音都呈规则性的变化, 信号的强弱变化如图1所示。这种信号沿电缆路径的变化规

律也可作为电缆路径探测的一种手段，探头偏离电缆路径时便探测不到规则的信号。

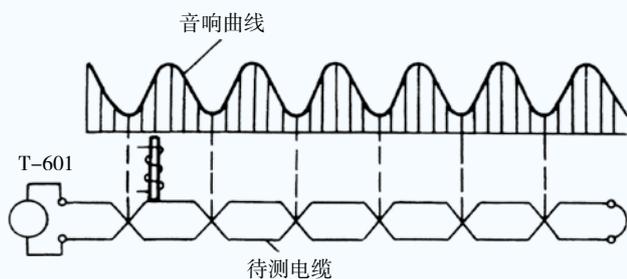


图1 信号音响强度随节距的变化示意图

为便于对比，现将其他几种电流磁场的分布绘制图形如下：

#### (1) 线电流磁场分布

无电磁干扰情况下单根直管道周围的电磁场分布，该电磁场的分布与计算需要用圆柱坐标系来求解。

磁场的有旋性示意如图2；电流方向与磁场方向右手定则示意图3；

方向判断：通电导体的右手螺旋定则如图3；直

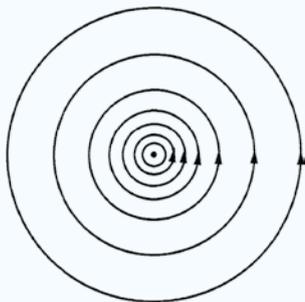


图2 磁场的有旋性示意图

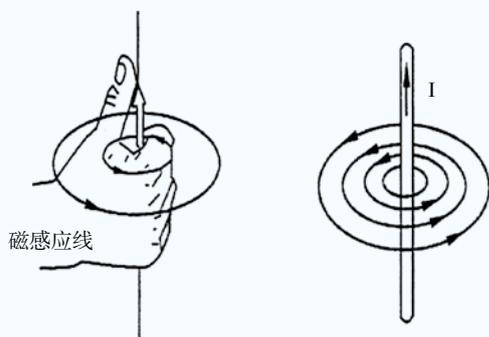


图3 电流方向与磁场方向右手定则示意图

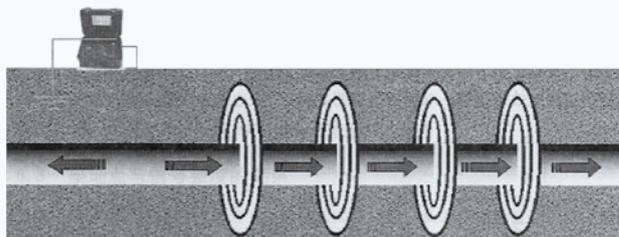


图4 地下管道上电流与磁场方向示意图

线通电导体周围的磁场如图4；

特点：①磁力线是以导体为中心的许多同心圆；②离导体越近，磁力线越密，磁场越强；离导体越远，磁力线越稀疏，磁场越弱；③任意一点的磁场强弱主要由电流决定。

#### (2) 面电流磁场分布

当带电体体积退化为一个可以忽略其厚度的薄层面积时，电荷在该薄层内定向运动所形成的电流称为面电流。

面电流磁场是指在有均压线的多根平行管道上方地表的磁场分布。这种电磁场有如坦克轮上的履带状磁场分布，检测时用零值法不回零，用峰值法无最大信号。面电流电磁场磁力线分布如图5所示。大地表面电流流动时地表的良导体、高阻体改变了电流线分布示意如图6。

#### (3) 点电流电磁场

点电流电磁场是指在发射机接地点、管道防腐层破损点、管道末端未防腐的盲板、堵头、牺牲阳极地床上方地表的磁场分布。管道电磁场在以上这些位置发生信号异常。家用电器的接地点周围、避雷针接地周围、其他各类用电设备接地点周围也都存在点电流电磁场。

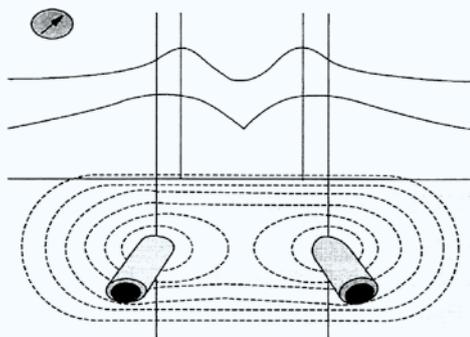


图5 埋地平行管道周围的磁场分布示意图

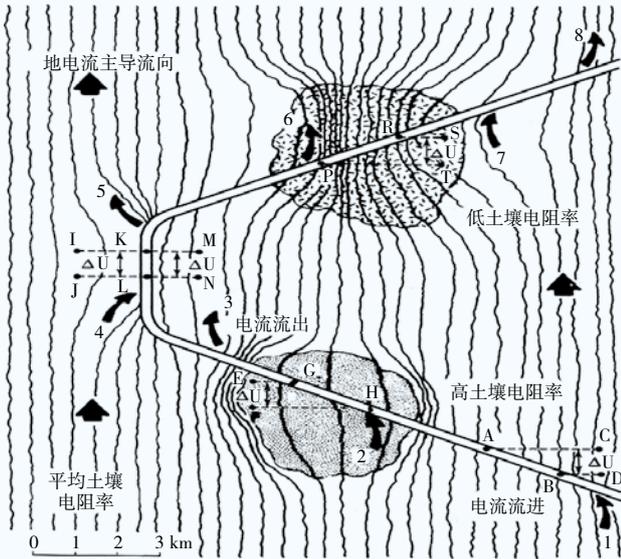


图6 大地地表面电流流动时地表的良导体、高阻体改变了电流线分布示意图

由于接地点电流流入大地，接地点上面是空气，发射电流只能向土壤中传播，形成土壤中半球状的地面电磁场。点电流电磁场用球坐标系求解。

点电流接地点跨步电压分布如图7所示。防腐层破损点上方的涡流场如图8；点电流磁场的有旋性示意如图9。

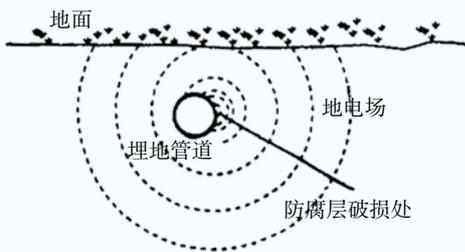


图7 地下管道防腐层破损点周围电位梯度场

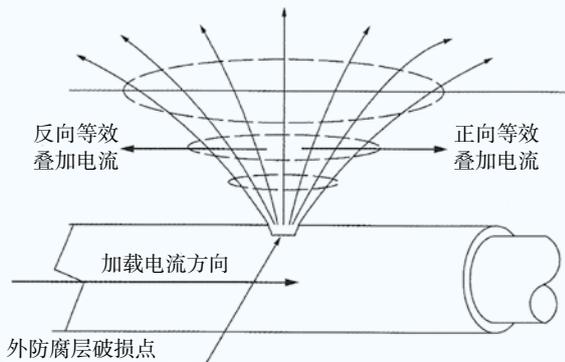


图8 防腐层破损点上方的涡流场

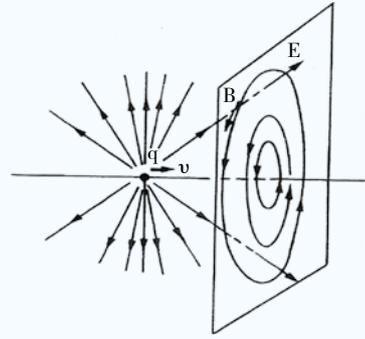


图9 点电流磁场的有旋性示意

### 3 地下管道探测位置偏离的原因分析

#### 3.1 发射机附近的位置偏离电磁场分布

在用直连法施加探测信号的情况下，发射机周围有3个因素会使探测管道信号偏离：

一是接地点，接地点的回路电流会形成以接地点为中心的点状电磁场，如果需要探测的管道在点状电磁场辐射的范围内，该场会把管道上方的磁场推向接地点相反的方向。管道越深、接地点越近，偏移度越大，为了解决这一问题，往往需要配两个接地棒对称接地，还要将两根接地棒的接地电阻通过打深、浇水湿润等方式调节到相同的效果。

二是发射线与接地线的影响，发射线与接地线的影响存在电流方向的问题，如果发射线与接地线与地下管线方向平行，其影响方向如下图10。如果发射线与接地线与地下管线垂直，则与地下管线近处影响大，远处影响小。

三是发射机本身的影响，影响因素主要是发射机内部线圈的绕组方向与发射时的放置方向。直连法发射信号主要通过发射线连接到地下管线，感应法发射其耦合程度如图10。

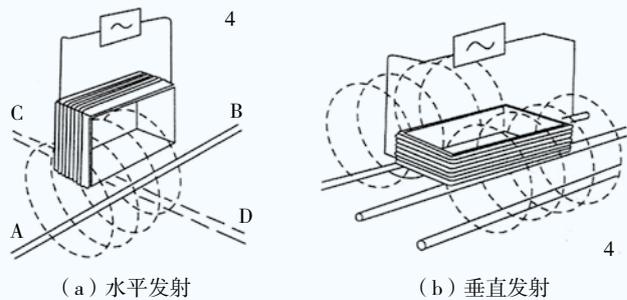


图10 发射机不同放置对地下管线的不同耦合示意图

### 3.2 地下载流管线的影响使探测位置偏离

如果地下管线的阴极保护有均压线，以大地作为回路的检测信号在平行的多条地下管线上会有同向电流，在地表检测到的间距会比实际距离近；如果以一条管道作为信号源，以另一条管线作为信号回路，在地表检测到的间距会比实际距离远，两条管线电磁场的吸引与排斥如图11所示。大地电流等效电路及磁场分布示意图如图12；平行导体地面上的磁场分布示意图如图13。

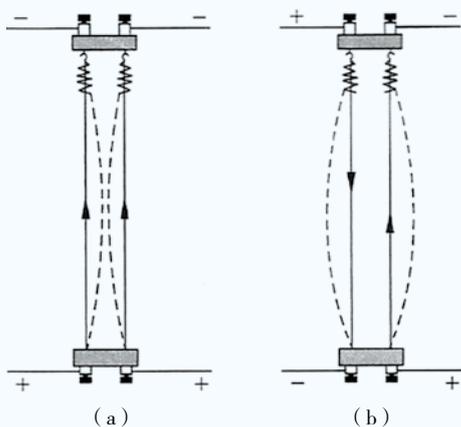


图11 平行电流间的相互作用

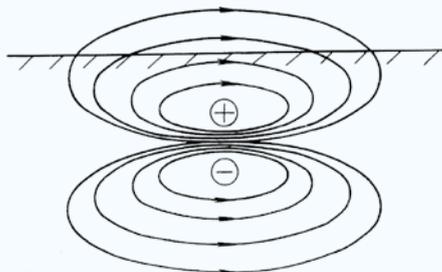


图12 大地电流等效电路及磁场分布示意图

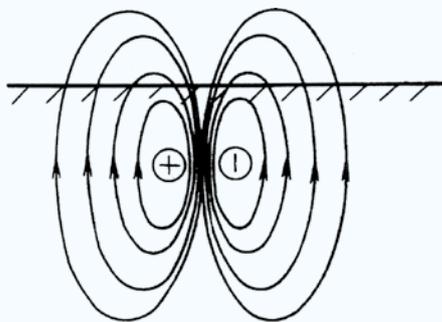


图13 平行导体地面上的磁场分布示意图

### 3.3 发射功率与发射频率的影响

功率是电流与电压的乘积，电压越高，电流越大，对邻近的地下管线耦合信号越大，目标管线磁场的偏离也就越大；在多根管线平行或者交叉的情况下，发射电流、电压以够用为原则，应用较小的功率可以取得比较理想的探测结果。发射功率的大小以满足在地表探测到管道就行，并非越大越好。

探测管道行业内人士众所周知，高频信号沿地下管线传输距离近，低频信号沿地下管线传输距离远，因为高频信号容易耦合到邻近管线上，衰耗速度也比较快，信号频率衰耗模型如图14所示。

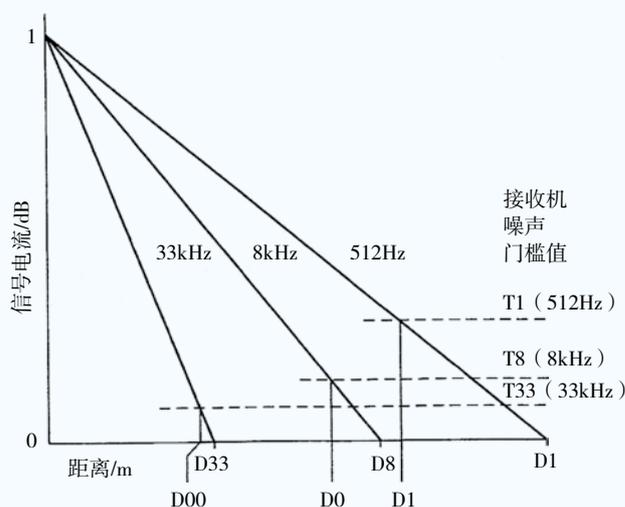


图14 信号频率对传输距离的影响示意图

### 3.4 探测人员仪器操作不当的影响

在用单线圈探头探测管道的情况下，探头与探杆探测时的角度，探头中心的轴向精度，线圈的绕组方向精度，探测者把握探杆的垂直度，都与探测精度有关。

在用多线圈探头探测管道的情况下，密封在接收机壳中的探头线圈的角度，探头中心的轴向精度，线圈的绕组方向精度，探测者把握接收机机身的垂直度，都与探测精度有关。

### 3.5 测深位置选择不当

测量管道深度有多种方法，无论哪种测深方法，都必须保证探管测深时应选择单根管线直线段的中间，地面不平时要修正不平高度，探头以 $45^\circ$ 角向管道两边做与管道垂直方向移动测深，管位与两边最小

的点距离不等时,说明中间定位点有误差,或者存在电磁干扰,此时的管道深度用两边距离相加除以2作为管道平均深度。发射机附近管道、三通、四通处、拐弯处、与其他管线搭接处、平行与交叉管线存在的位置一般不宜作为测深的选择地点。防腐层破损点的上方也不宜作为测量管道深度的选择。

### 3.6 管道拐点处的探测位置偏离

管道拐点处的探测位置偏离一般都是向外侧偏离,在管道拐点处,由于管道电流方向发生了改变,磁场方向也随之改变,在拐点内侧磁场叠加;在拐点外侧磁场类似于圆形电流的磁场,由于在地表探测,管道的直角弯会探测成弧形弯。管道的偏离方向也向外的。

## 4 地下管道探测位置偏离的判断

### 4.1 探测位置比较法判断

峰值法定位与谷值法定位的比较法判断,是将峰值法探测位置与谷值法探测位置进行比较,如果两种方法探测的管道位置一致,说明探测准确,如图15;如果两种方法探测的管道位置不一致说明存在电磁干扰。管道无干扰情况下的位置探测如图15所示,图16为有干扰情况下管线的位置探测示意图。

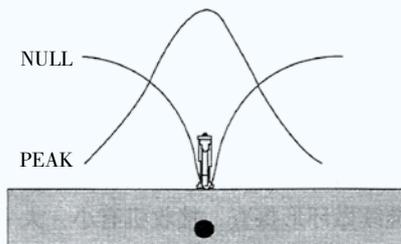


图15 无干扰情况下管道位置探测

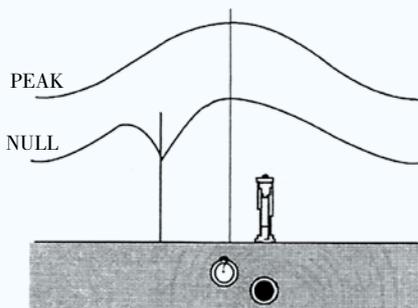


图16 有干扰情况下管道位置探测

### 4.2 45° 测深法判断

用最小法探测管道位置以后,在其上方做一记号,将探头转到45°的角度,分别向记号两边作与管道走向垂直方向移动测量深度。注意观察记号两边谷值点到记号的距离,如果向两边谷值位置旁拉的距离相等,说明探测的管道位置准确,如果不相等,说明存在电磁干扰。

### 4.3 变频选频探测法判断

在采用具有多种频率可以选择的仪器设备进行管道深度探测时,选用较高频率与较低频率两种方法进行探测比较。如果两种方法探测的管道位置一致,说明探测准确,如果两种方法探测的管道位置不一致,说明存在电磁干扰。

### 4.4 缩距法判断

目标信号随着探测距离的延伸会逐步下降;干扰信号随着探测距离的延伸会逐步上升,当探测到某一管道位置目标信号与干扰信号为1:1时就不能继续向前探测。也可以将发射机移到较近的位置重新接线发射,进行探测,就可以压制干扰信号。

## 5 地下管道探测位置偏离的修正

### 5.1 1.5倍间距移动位置修正法

当峰值法探测与零值法探测的管线位置不在同一点时,说明该点存在杂散电流干扰,管道磁场被排斥或者吸引,探测位置偏离了管道正上方,管道的真正位置既不在最大点,也不在最小点,应该进行修正。管道的真正位置在最大点外侧靠近最大点,从最小点方向向最大点方向移动1.5倍两点间距离。管道位置修正分析如图17所示。

### 5.2 两边距离相加平均修正法

在采用45°法测量管道深度时,通常用最小法在管道上方探测后作一管位记号,再将探头转到45°的角度。沿记号向与管道走向垂直方向移动,当信号出现最小值时,再做一记号,测量该记号到管道位置的距离就是管道的埋深;采用同样的方法测量管道的另一边;如果两边测量的距离不相等,说明测量点存在电磁干扰,采取两边距离相加除以2的方法作为管道的平均埋深。信号强度80%测量管道深度;70%测量管道深度也可以参照此方法进行平均。

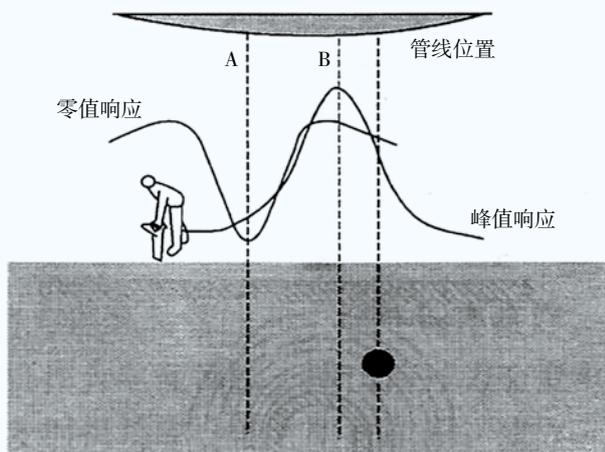


图17 移动1.5倍间距修正管道真实位置示意图

### 5.3 发射机远接法

属于发射机盲区范围的管道探测，只要将发射线延长，将发射机、发射线、接地线，接地点选择在远离探测的目标管线，就不会影响该处管道位置的探测。

## 6 地下管线位置偏离与修正的应用实例

### 6.1 武汉环城高压燃气管道黄龙山隧道处位置深度探测

武汉环城高压燃气管道黄龙山隧道处管道属于关山调压站区管辖，探测该处位置走向深度时发现用最大法与最小法探测的位置不一致，两者相差0.6m，利用以上介绍的理论对管道的真正位置进行修正，管道深度达到7.5m，修正距离为最大法外侧0.3m，距最小法的位置0.9m，后来经过开挖验证，高压燃气管道的位置在黄龙山隧道口东侧路面下的一条排水水泥管道下面，与理论修正的数据相一致。

### 6.2 汉江定向穿越管道工程探测

武汉环城高压燃气管道汉江定向穿越管道工程探测，先是从黄金口阀室方向施加探测信号，探测管道时在汉江南岸江堤北侧致江边，有两个信号，很难判断哪一个信号是目标管道的信号，另外管道位置在两根平行电流的作用下受到吸引，发生偏移。利用以上介绍的理论，采用反向发射法，将发射机接到汉江北岸长风桥下仓库内的检测桩上发射信号，探测到汉江两岸的管道位置与深度。

### 6.3 武汉黄陂杨家湾铁路轻轨桥墩打桩处管道改线探测

武汉黄陂杨家湾铁路轻轨桥墩打桩处与高压燃气管道在同一点交叉，燃气管道需要进行改线，在地表有其他管道信号干扰，在杨家湾巨龙大道南侧的小河边西侧探测了10个点，两种探测方法对比均有不同程度偏移，燃气管道深度在地平面以下7.7m~8.6m，利用以上介绍的理论进行修正后，施工单位用机械进行了开挖，准确挖到了管道，及时进行了管道的改线。使轻轨打桩工程得以顺利进行。

#### 参考文献

- 1 袁厚明. 地下管道电磁无损检测与隐患故障诊断. 北京: 中国石化出版社, 2013: 6
- 2 袁厚明. 地下载流管线电磁场分布特性研究. 防腐保温技术, 2014: 2
- 3 张三慧. 大学物理学 力学、电磁学 清华大学出版社, 2009: 2
- 4 符果行. 电磁场与电磁波基础教程. 北京: 电子工业出版社, 2012: 8

#### 工程信息

## 内蒙古卓资县天然气液化加注项目

近日，内蒙古华晨新能源有限责任公司与卓资县正式签订天然气生产及加注站建设协议。

内蒙古华晨新能源有限责任公司每天生产30万Nm<sup>3</sup>液化天然气及2座液化天然气加注站建设

项目，总投资1.5亿元。位于卓资县旗下营工业园区南区，项目建成后可实现年销售收入3亿元，上缴税收1600万元。

(本刊通讯员供稿)