

地下管线探测技术应用与测量精度控制

荣昌茂

海南海东青勘测设计咨询有限公司 海南 海口 570105

【摘要】：地下管线材质多样、埋深变化且邻近干扰密集，单一仪器读数难以对应可靠空间位置。现场踏勘、电磁探测、探地雷达和控制测量组成多源证据作业链；通过统一管点编码、分区选择仪器参数、重复观测异常点，并以平面重复点位差评价稳定性，将目标解释与坐标测定纳入闭环。该方法可识别串线、剖面歧义和坐标错配，为复杂建成区管线普查及施工前复核提供可追溯的精度控制路径。

【关键词】：地下管线探测；频率域电磁法；探地雷达；控制测量；精度控制

DOI:10.12417/2811-0528.26.18.048

城市道路下方常并行敷设多类管线，材质、管径、接口和回填状态差异会改变探测响应，现状图件也可能存在基准不统一、位置变更或埋深缺失。若现场只追求快速标点，仪器异常、地面点位与数据库坐标之间便缺少核验链。作业组织需要先明确对象和精度等级，再按可探测性组合仪器，以控制点约束管点坐标，并把重复观测、局部验证和异常复测结果回写原编号，形成交付记录。

1 地下管线探测技术的应用

（1）优选探测方法与仪器：仪器组合由管线材质、埋深和现场干扰共同决定。连续金属管线优先采用电磁直接法，无法接入时改用夹钳或感应法；非金属及材质不明目标采用探地雷达正交扫描。低频电磁信号适合长距离追踪，高频信号耦合较强但衰减较快；低频雷达探测较深，高频天线分辨浅层细管。正式作业前在已知井段校准频率、增益和测线方向，不能稳定复现管位时更换方法。作业记录同步保存设备编号和校准状态。（2）控制测量科学布点：控制测量从检核合格的项目控制点起算，设站后复核后视方向、仪器高和棱镜常数。测绘新技术用于规划测量时仍需基于坐标基准、重复初始化和已知点检查，地下管点也应保留同样的检核链^[1]。直线段按间距布点，转折、分支、变径、材质变化和交叉口加密；每个点同步记录地面高程与埋深口径。数据处理分别检查重复坐标差、埋深差和走向连续性，超限点返回现场复测。测点标志与坐标文件保持一致。（3）多源探测技术：地下管线多源探测以证据互校为核心。电磁法在导电管线连续且接地良好时效率较高，但密集并行管线容易串线，强电缆也会掩盖弱目标。探地雷达能够识别非金属管线和回填扰动，其效果受含水黏土、路面钢筋与天线频率制约，双曲线异常还可能来自石块或空洞。复杂测区先用电磁法跟踪可导电目标，再以雷达横断面检查遗漏和交叉关系，并用井室连接方向复核。两类结果冲突时保留原始曲线，列为异常点重新采集。（4）精度控制技术：精度要求在外业

前分解为测线间距、重复观测次数和坐标测量等级。探测定位误差来自仪器响应与目标解释，坐标误差来自控制点、设站和照准，两类误差分开登记才能找到返工环节。控制表按管类记录仪器模式、频率、峰谷响应、埋深读数和测量方法；重要交叉口、深埋目标及施工影响区提高复核等级。成果评价同时查看重复点位差、走向闭合和埋深突变，不以单个读数替代整段稳定性判断。

2 管线测量误差防治策略

（1）定期复测和异常预警：异常预警围绕可解释规则设置。相邻管点走向突然折返、埋深无构造依据地突变、支线未连接附属物或不同方法定位差持续扩大，均进入复测清单。复测时至少改变一个条件，如旋转雷达测线方向、调整电磁频率、移动发射接地点或更换控制点设站，不能机械重复原操作。两次结果仍不一致时提高风险等级，采用局部开挖、钎探或权属确认；处置记录保留原值、复测值、采用理由与人员时间，形成闭环。（2）测区电磁环境调控：电磁环境调控先识别强电缆、护栏、井盖和并行金属管线的耦合影响。接收机沿估计走向左右摆动，峰值用于确定信号中心，谷值检查场形对称性；两者偏离常提示邻管串线或回路路径异常。道路改造勘测中的联合探测与精度分析说明，最强信号并不必然对应正确目标，还需结合井室、材质、支线与测量位置核对^[2]。疑似串线段通过变频、改变接地点和反向追踪比较走向，异常点保留原频率与峰谷响应。（3）合理校核和成果入库：成果入库前按管段检查拓扑关系，转折、分支和附属物使用唯一管点编码，原始曲线与照片通过编号关联。复杂环境管网保护要求准确识别现状管线并保存现场核查记录，偏差坐标应回到原位置复测后再用于施工交底^[3]。探测数据进入参数化模型时还要保留埋深口径和证据链接，使模型修订能够返回现场记录核验^[4]。复测通过后签发新版本，并登记变更范围、采用理由和未消除风险，禁止直接覆盖旧坐标。多源探测、测量与异常复核的闭环关系

见图1。

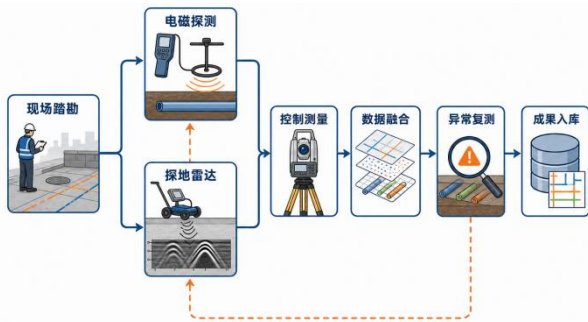


图1 多源地下管线探测与精度控制闭环

图1把电磁与雷达结果汇入控制测量,融合异常返回原点复测;反馈箭头说明数据库不得替代现场重新采集,成果库只接收闭环记录。

3 工程分析: 多源技术在管线精度控制中的应用

(1) 背景介绍: 城市道路敷设给水、燃气、电力、通信和排水管线, 材质、接口及回填状态会改变仪器响应。已有图件还可能存在坐标基准不统一、竣工位置变更或埋深缺失, 图上位置不能直接作为施工依据。工程应用先把权属资料、井位、阀门和地表修补痕迹编入踏勘底图, 再沿疑似走向布置垂直扫描线, 并标明重点保护对象。只有信号连续、附属物对应和重复测线相互印证, 才确定管线平面位置与埋深, 并标注可信等级。

(2) 实施过程: 实施过程使用统一管点编号衔接探测与测量。探测人员标点后登记管类、材质、埋深和可信等级, 测量人员读取同一编号采集坐标, 不另建无对应关系的临时点名。照片、雷达剖面 and 电磁曲线均按编号命名, 每日核对文件条数、坐标系、单位和高程基准。开阔直线段采用较疏测线, 交叉口和深埋疑难区逐级加密; 所列参数用于方案比较, 实施前仍以已知井段试验校准, 并登记试验结果。交接时核对待复测点, 防止记录遗漏。典型场景的测线与复测参数见表1。

表1 典型场景测线与复测参数

场景	方法	测线间距/cm	独立复测点/个	复核动作
----	----	---------	---------	------

开阔直线段	电磁直接法	100	2	井位核对
金属支线区	电磁直接法	80	3	变频追踪
并行密集区	电磁感应法	60	4	改变发射位置
道路交叉口	电磁与雷达	50	5	正交复扫
浅层非金属区	探地雷达	40	6	双向剖面对比
深埋疑难区	多源组合	30	7	局部验证

表1显示风险越高, 测线间距越小、独立复测点越多; 100 cm至30 cm的梯度用于方案比较, 实施值仍须由已知井段校准。

(3) 精度分析: 同一管点进行两次独立坐标观测, 重复点位差用于评价稳定性。该指标反映现场标点与坐标测量的综合状态, 不能替代开挖验证得到的真实管位误差。批量成果同时查看重复差的中位数、较大值空间分布和管线类别; 高值集中在交叉口时复核信号耦合, 集中在建筑遮挡侧时检查设站与多路径条件。该指标增大只说明重复定位不稳定, 应分别追查探测和测量环节, 并保留复测记录。复测收敛后再更新坐标。同一管点的重复平面点位差按式(1)计算。

$$d_p = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad (1)$$

式(1)中: d_p 为重复点位差, m ; x_1 、 y_1 和 x_2 、 y_2 为两次平面坐标, m 。式(1)的 d_p 增大只说明重复定位不稳定, 应分别检查探测标点和坐标测量; 绝对精度仍需开挖或独立真值验证。

4 结语

地下管线探测精度取决于目标识别、现场标点和坐标测量能否保持同一对象链。作业中应根据材质与环境组合电磁法和探地雷达, 以控制网约束管点坐标, 并用重复观测差、走向连续性和埋深变化筛选异常。冲突点返回原编号改变条件复测, 通过后再入库; 开挖验证结果还应反查相邻成果。该闭环能够减少串线误判、坐标错配和无差别返工, 使管线成果具备清晰的来源、精度边界与修订记录。

参考文献:

- [1] 王辉. 测绘新技术在建筑工程规划测量中的应用[J]. 中国建筑金属结构, 2026, 25(11): 145-147.
- [2] 孟强, 周文豪, 李晓光. 无人机联合地下管线探测仪在城市道路改造勘测中的应用及精度分析[J]. 科技创新与应用, 2026, 16(18): 64-67.
- [3] 张明明. 复杂环境下给排水管网施工保护技术[J]. 智慧中国, 2026, (6): 140-141.
- [4] 祖帅. 基于探测数据的城市地下管线 BIM 参数化建模技术研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2026, 49(6): 204-207.