

综合物探法在深厚覆盖层地下空腔探测中的应用

唐银海¹ 刘晓云²

1.重庆市地质矿产勘查开发集团检验检测有限公司；2.重庆一三六地质队

DOI:10.12238/jpm.v5i8.7133

[摘要] 深厚覆盖层地区地下空腔的存在，给工程建设带来了许多问题。提前查明地下空腔的分布情况，能够减少甚至消除其带来的危害。以西南某工程建筑场址区为研究对象，探讨了高密度电法以及电磁波层析成像法在深厚覆盖层地下空腔探测中的适用性，并通过实际应用，成功探明了该场址区地下空腔的分布情况，为建筑基础处理提供了科学依据。

[关键词] 深厚覆盖层；地下空腔；综合物探法；地质勘探

Application of comprehensive geophysical exploration in underground cavity detection of deep overlay

Tang Yin Hai¹ Liu Xiaoyun²

1.Chongqing Geology and Mineral Exploration and Development Group Inspection and Testing Co., LTD.;

2.Chongqing 136 Geological Team

[Abstract] The existence of the underground cavity in the deep cover area has brought many problems to the engineering construction. Identifying the distribution of underground cavity in advance can reduce or even eliminate its harm. Taking the building site area of a project in southwest China, the research object discusses the applicability of high-density electric method and electromagnetic wave tomography in the underground cavity detection of deep overlay, and successfully proves the distribution of the underground cavity in the site area through practical application, which provides a scientific basis for the building foundation treatment.

[Key words] deep overlay; underground cavity; comprehensive geophysical exploration method; geological exploration

引言

地下空腔是由于水流在碳酸盐岩上层的松散土体中活动，使土层发生潜蚀管涌及崩塌后形成的一种隐伏型不良地质体。作为一种具有突发性、群发性及强破坏性的致灾因子，地下空腔在外界因素的影响下可能会发生塌陷，导致上部建筑物的损坏，造成经济损失，甚至人员伤亡。因此，查明地下空腔的分布情况，对减少相关区域的工程地质灾害具有重要意义。针对地下空腔的勘察，钻探依旧是最直接的手段，但其具有成本高、钻孔布设随机等缺陷。因此，物探被广泛应用于勘察地下空腔。李富等基于高密度电阻率法的基本原理，结合野外数据采集装置形式的选择、极距的确定和数据质量的保证措施，研究解译处理了相关数据资料。结果表明，高密度电阻率法相比于其他直流电法具备明显优势。江玉乐等介绍了高密度电阻率法所基于的静电场理论和工作特点，并成功应用于某高速公路建设中的岩溶地质勘察，获得了测区部位的视电阻率二维成像图，再

通过对视电阻率二维成像图的异常形态以及高低阻等特征的分析，推测得到了地下岩溶溶洞的分布范围、大小和埋深。以西南某工程建筑场址区为研究对象，从场址区的基本地质环境特征出发，研究分析了高密度电法和电磁波层析成像法的适用性，并应用这两种物探方法对该场址区进行了地下空腔分布情况的勘察。勘察结果表明，地层中存在多个规模各异的空腔，对工程建设安全存在一定隐患。

1. 综合物探方法技术

不同岩土体介质通常在密度、电阻率、磁性和传播速度等方面存在差异，这些物性差异会引起地球物理场在时间和空间上的局部的地球物理异常反应，采用地球物理方法探测就是利用地下障碍物与地下介质之间的物性差异，通过专用探测设备接收不同激发场源的电阻率、地震波振动信号、电磁场等信息在时间或空间上的响应，结合已知地质资料解释各种不同地质现场，达到探测地下障碍物的目的。由于城区存在各类复杂环

境干扰因素，如人类活动、车辆振动、电磁干扰等，由于上海潜水面较浅，传统地球物理探测方法（如管线仪和探地雷达）探测最大深度有限，且应用单一物探方法开展探测存在着多解性，而综合物探方法间可以相互补充、相互印证，能有效提高探测异常解释的准确性，在城市深埋地下障碍物调查中应用越来越广泛，本文主要以高密度电阻率法、微动勘探法和井中磁梯度法等综合物探方法在城市地下障碍物探测中的应用效果实例对比分析，经开挖验证探测效果明显。

1.1 高密度电阻率法

物理上用“电阻”来表征物质的导电性，电阻率是岩土重要的电学参数，表示不同岩土体的导电特性。用仪器测量地下介质的电阻率差异，来推断、寻找电阻率异常高或异常低的部位，混凝土桩、防空洞砌体石块等障碍物一般电阻率较高，而地层中的土体由于土壤中含水则电阻率较低，因此根据地下电阻率的变化，判断出电阻率异常，从而确定地下障碍物分布情况。

高密度电阻率的测定方法：沿测线上的测点，分别同时打入多个金属电极，并用导线连接供电回路和测量回路，由计算机控制多个电极之间的供电、测量回路，供电电极用 A、B 表示，测量电极用 M、N 表示，则测量岩土体的电阻率表达式为：

$$\rho_a = K \Delta U_{MN} / I \quad (1)$$

式(1)中， ρ_a 视电阻率 (Ω/m)； ΔU_{MN} 为测量电极 MN 间的电位差 (mV)； I 为供电回路的电流强度 (mA)； K 为装置系数。

视电阻率 ρ_a 在一定的探查体积内岩土的综合电阻率（即表示非均匀体综合影响的电阻率），如图1所示。

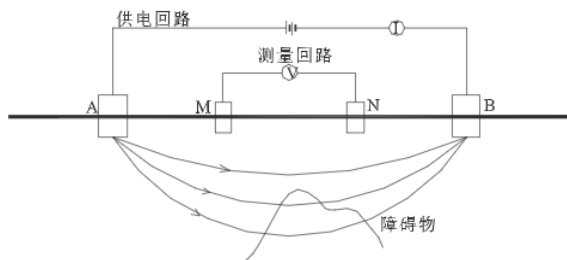


图1 高密度电阻率法探查示意

1.2 微动勘探法

微动是一种没有特定震源的天然源振动，是由体波（P波和S波）和面波（瑞雷波和勒夫波）组成的复杂振动，并且面波的能量占信号能量的70%以上，微动中的面波信息与地表介质密切相关，实际运用中常利用微动信号的瑞雷波信息。由于面波的频散特性，微动信号具有振幅、频率随时间、空间发生显著变化的特点，且在一定时空范围内仍满足统计稳定性，可用平稳随机过程来描述。微动探测方法（The Microtremor Survey Method）是以平稳随机过程理论为依据，从微动信号提取面波（Rayleigh波）的频散曲线，通过对频散曲线的反演获取地下视S波速度结构信息的地球物理探测方法。

1.3 井中磁梯度法

地球相当于一个位于地心的极子（负极S位于地理北极附

近，正极N位于地理南极附近）的地球物理场。若障碍物具有铁磁性物质，在地球磁场的磁化下具有极强的磁性，上端呈负极S，下端呈正极N。磁梯度探测就是利用梯度探头在钻孔中测出梯度值（ ΔZ ）随深度变化的曲线，依据曲线特征判定障碍物的大致位置及深度，此可计算出测孔内梯度 ΔZ 随深度（ z ）的理论变化曲线（图2）。

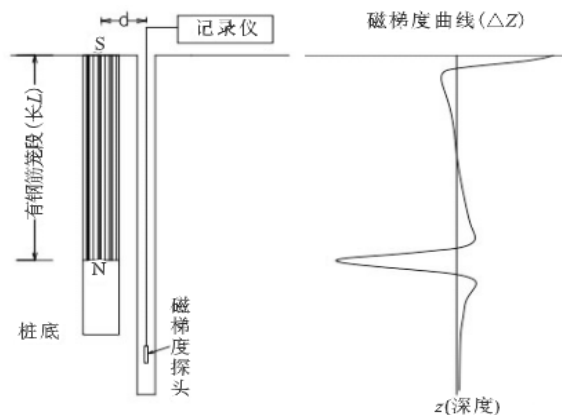


图2 井中梯度法探测原理示意

2.应用实例

2.1 场址区地质环境特征

该场址区坐落于不规则宽阔扇形冲洪积缓坡台地上（图3）。从场址区至金沙江江边的地形总体平缓，局部有陡坎。该段岸坡有河流冲积I级、II级和III级阶地，后缘有山前洪积台地分布。该场址区位于III级阶地及洪积台地上，地面高程为790~870m，坡度在4°~7°，地形整体呈西低东高。场地内，由南向北主要发育有钟家沟、石灰窑沟和大桥沟3条较大冲沟。以石灰窑沟为界，场址区被划分为南北两段，北段地面高程为790~850m；南段地面高程为814~870m。

区域断裂以南北向和北东向为主，区域构造应力场为北北西-南南东方向，区域控制性主干断裂有近南北向的小江断裂带和凉山断裂带、北西向的则木河断裂带、北东向的昭通断裂带。其中，凉山断裂带、则木河断裂带和小江断裂带为晚更新世-全新世以来的活动断裂带。场址区5.0km范围之内发育的主要区域性断裂为则木河断裂带、小江断裂带。场址区距离则木河断裂带约5.0km，距离小江断裂带0.5~1.0km。

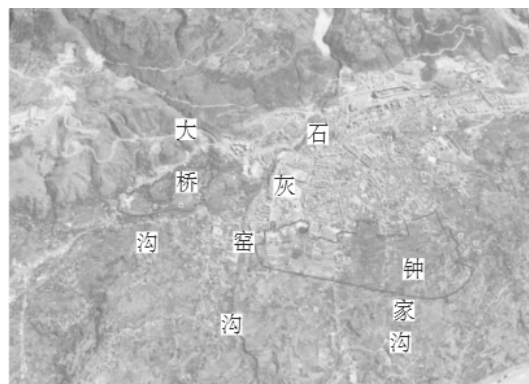


图3 场址区地形地貌

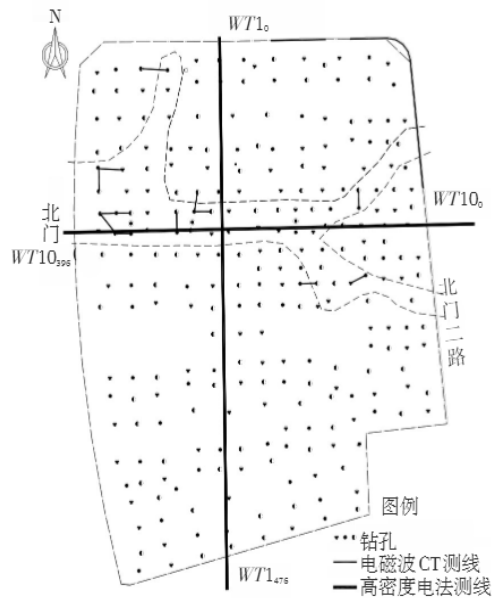


图4 测线及各测试孔位置示意

2.2 高密度电阻率法

为更好地确定探测该区域,在研究中,高密度电法测试共

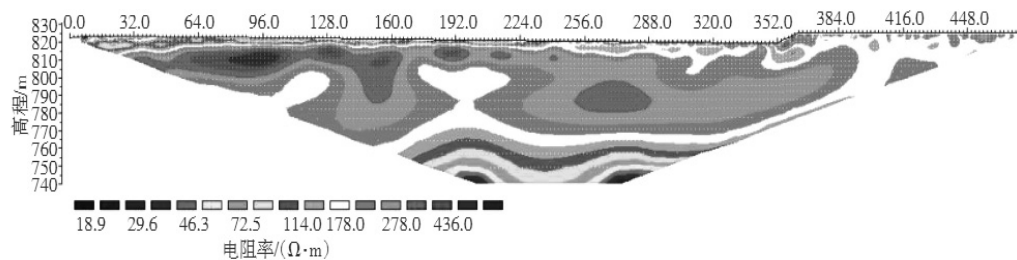


图5 WT1 测线剖面高密度电法反演视电阻率色谱

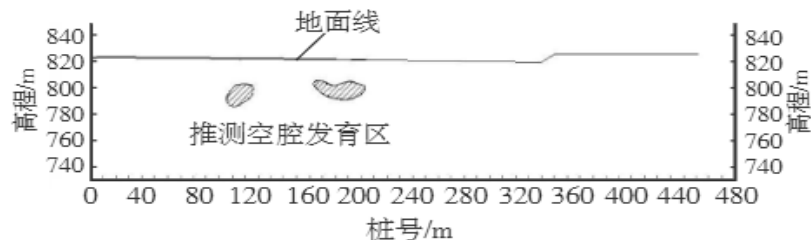


图6 WT1 测线剖面高密度电法解释结果

4.结论

综合物探法在深厚覆盖层地下空腔探测中的应用是一项重要的技术,具有广泛的应用前景和重要的实践价值。未来,随着科技的不断发展,综合物探法将会更加完善和优化,为地下工程的安全和发展提供更加坚实的保障。

[参考文献]

- [1]刘昌铨,孙振国,李长法.层析成像技术在核反应堆地基勘察中的应用[J].物探与化探,2000,22(1):69-75.
- [2]李东林,颜际春,韩金良.电磁波层析技术在工程地质勘察中的应用[J].路基工程,2009,24(6):40-41

布设2条线路,孔内电磁波层析成像共设置8组。场址区覆盖层地下空腔测线WT1和WT10的位置以及各测试孔的位置见图4。

3.数据结果与分析

WT1 测线的探测长度为476m,视电阻率剖面分布见图5,解释结果见图6。高密度电法WT1 测线探测反演的视电阻率色谱图分析解释如下。(1)根据视电阻率分布,高密度电法WT1 测线自上而下大致按3层解释。第1层为人工填土与粉质黏土层,视电阻率范围 $80\sim 170\Omega\cdot m$,厚度范围 $0.0\sim 9.0m$;第2层为碎石层,视电阻率范围 $150\sim 500\Omega\cdot m$,厚度范围 $7.0\sim 62.0m$;第3层为含水层,视电阻率范围 $19\sim 85\Omega\cdot m$,厚度范围 $58.0\sim 78.5m$ 。(2)第2层碎石层中,在剖面桩号103~128m、高程 $804\sim 784m$ (深度 $20\sim 40m$)以及桩号176~214m、高程 $804\sim 784m$ (深度 $20\sim 40m$)范围内出现了2个视电阻率色谱畸变异常区。分析认为,该异常区的出现可能是受地下空腔发育影响所致。由于高密度电法的体积效应和探测精度限制,电阻率色谱图未能准确定位出小规模地下空腔的空间位置,但结合高密度电法探测结果和钻孔资料分析可知,该测线地下不存在大规模的连续地下空腔群。

[3]卓启亮,于强.微动探测方法在城市工程地质勘察中的应用[J].工程地球物理学报,2020,17(5):658-664.

[4]徐佩芬,李世豪,杜建国,等.微动探测:地层分层和隐伏断裂构造探测的新方法[J].岩石学报,2013(5):1841-1845.

[5]李金朋,张英堂,范红波,等.基于磁梯度张量的地下小目标相关成像方法[J].探测与控制学报,2016,38(3).

[6]孙士辉,朱能发,潘喜峰,等.磁梯度技术在深埋并行金属管线探测中的应用[J].工程地球物理学报,2016,13(2).

[7]葛如冰.高密度电阻率法在城市地下目的物探测中的应用[J].物探与化探,2011,35(1):136-139.