

综合物探方法在地面塌陷探测中的应用研究

孔诗羽

上海市岩土工程检测中心有限公司

摘要：地面塌陷破坏性强，为了全面的提高地面塌陷探测水平，需借助有效的技术手段，针对性的进行探测，才能提高探测准确性。基于此，本文综合选取地质雷达和瞬变电磁法、瑞雷面波法等探测方式，结合具体工程项目，总结了综合物探方法在实践中的有效运用措施，希望本次研究能为地面塌陷探测工作开展提供有效技术保证。

关键词：综合物探；地面塌陷；瞬变电磁法

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.01.120

引言

地面塌陷是地表浅层岩土体向下塌落的过程，最终形成了塌陷坑，地面塌陷是一种极具破坏性的地质灾害，它会造成一定的安全隐患，给人们生活造成巨大影响。因此，地面塌陷探测工作十分重要，为了全面的对地面塌陷进行探测，技术人员需要结合具体项目所在区域，根据地质条件以及周边环境，并借助有效的技术手段，全面提高地面塌陷防治水平。

一、物探方法及其原理

（一）地质雷达

地质雷达在无损检测探物方面是相对有效的方法，其使用效率和便捷性均较高。它可通过地下介质之间存在的常数差异，基于发射天线向地下发射脉冲电磁波。该电磁波经过地下时会遇到介电差异相对明显的界面，此时电磁波会重新返回到地面。接收天线可获取反射电磁波，对获取的电磁波走时、频率等特征进行细化分析，由此可以确定地面坍塌可能发生的位置等具体情况。在城市范围内存在的电磁干扰相对复杂，因此可使用滤波等方式降低信噪比，运用相对专业化的软件对搜集的数据进行时间校正，消除背景和噪音，做好距离规划和增益调整等处理，这样能够有效排除干扰信号，明显突出反射电磁波的频率、同向轴异常等情况，为对异常体的识别提供便利条件，最终形成地质雷达波形图。

（二）瞬变电磁法

瞬变电磁法的工作原理可表述为，在地表铺设线框或电极，再集中输入交变电流。在回线电流中断时，下半空间便会形成感应电流，从而维持断电前已经形成的磁场。同时涡流场也会依据时间涡流环的形式向下和向外传播。可使用不接地的线圈或接地电极等对物流磁场的变化情况进行实时监测。同时，可将其运用到对浅层和层地垫结构的研究当中。由于在观测纯二次场异常情况时，并未存在一次场背景，因此异常情况会更为直接的显现，探测效果也更为真切，数据的可靠性也较高。

（三）瑞雷面波法

瑞雷面波的特征主要体现在传播速度和水平方向衰减较小，但对干扰的抵御能力较强，操作相对简便，可通过使用低频减波设备获取波形。在文件记录当中所含的波形信息较多。在瑞雷面波实时探测工作时，除了面部类型，其余为干扰波，结合面波产生的形式，主要可分为瞬态和稳态面波法。在实时坍塌检测期间，通常使用稳态面波方法。运用锤击震源在地下介质中激发出相应宽度的地震波。由于干扰波与地面反射波的速度不同，因此可使用频谱分析的技术手段，通过提取不同波的速度等特征进行细化分析，从而掌握与深度相关的面波速度情况。了解面波的速度与深度之间存在的联系，形成频射曲线，并对曲线的波速分布情况进行细化分析，从而推演出地下塌陷可能出现的区域。

二、工程概况

（一）工区情况

工区的特点为岩溶区，地下水开采频度较高，因此水位下降的幅度也较大。我国在20世纪80年代便出现了地面坍塌的事故，对地方市政道路和建筑等均形成了相对严重的危害。使用物探方法参与地质勘查确定病害的整治策略，具有明显的必要性与可行性。本文从某填方路的堑段和堤段方面对整治工作进行细致分析。该项目中的填方路堑段和堤段之间的距离为1km，沿线熔岩的密度和强度均无法达到均匀水平。覆盖层上的黏性土填充进岩溶空间一半以上。在下部岩洞空间主要使用砂浆和泥土混合进行填充，下部承压水的主要成分为碳酸盐，上部为覆盖层孔隙潜水。由于地下水降低的幅度较大，主要表现为岩溶孔隙水多处出现降水漏斗的形状。

（二）主要治理思路

在对基岩的完整性、土层分类和无损检验等方面运用瞬态瑞雷波方法，可获得相对理想的效果。其衰减较小，分辨率和对干扰的抵抗能力较高，操作相对便捷，同时不具有侵入性。在使用期间不会受到不同土层传播速度等因素的影响，因此在地表物理勘探工作当中的应用前景相对理想。使用雷达发射的电磁波属于高频性质。其带宽较窄，但分辨率更高，在效率、无损和显示等方面均具有明显的优势。在对研究路段开展整治工作时，可基于应用瑞雷波勘探的基础，综合运用瑞雷波和探地雷达等方法，也就是说通过使用探地雷达，针对浅部土层进行全面扫描，从而掌握岩溶破碎带的总体情况。从地质的情况分析可见，针对侧线水平剖面进行测量时，需兼顾雷达中心频率的差异，此后针对获取的数据开展相应的分析，通过Gpr Max2D软件形成地质模型，以此提高异常病害分析的准确性。

三、应用方法

(一) 探测方法

目前使用频率较高的物探方法主要为人工地震、电磁法等类型。其中，人工地震方法探测的深度由地面震源和连续测线的长度决定，其能量与地面连续测线的长度和深度数据成正比。本探测区域在城乡结合部地带，周围居民住宅建筑较多，因此激发震源的能量较高，也会对居民的日常生活形成明显的影响。同时，探测区范围内并不存在连续布置较长的测线，因为探测目标深度已经大于165m，同时探测的目标地区坐落在城市边缘，在探测深度和抗干扰能力等条件的影响下，该方法在具体探测工作中的应用效果也不够理想。综上，同时依据现场勘查的情况和掌握的经验，本次探测更倾向于使用瞬变电磁等方法。其中，瞬变电磁方法使用纳米电磁装置，以此提高探测的准确性。主要可针对0-40m范围内进行探测，使用的设备为美国GDP32型号的瞬变电磁设备。使用CSAMT方法可在深度为40-165m的区域进行探测，运用的电子设备为加拿大生产的V6型可控源音频设备。

(二) 测线布置

探测区域为矩形面积为1500m²。由于目标位置与F2断层相对接近，因此在实施探测工作时，需依据现场的具体情况 and 地质材料及勘测效果布置测线，测线的数量确定为8条，其方向与断层方向正向交接，这样便可实现对坍塌区域的完全覆盖。测线间距可设置为5m，具体的布置如下图。

布置测网可依据下述原则实施：第一，需依据具体的任务要求、勘测的方法和对象规模等因素进行全面衡量，此后确定相应的测网形式。测量与比例尺需保证能够观测到目标，并在平面图上准确体现出探测对象的规模。第二，测线方向和可以探测对象的走向需保持垂直，同时依据勘察区域的地形均匀布设。最理想的效果为与勘探线和其他探物方法使用的测线保持一致，要尽量减少与干扰源的交叉。

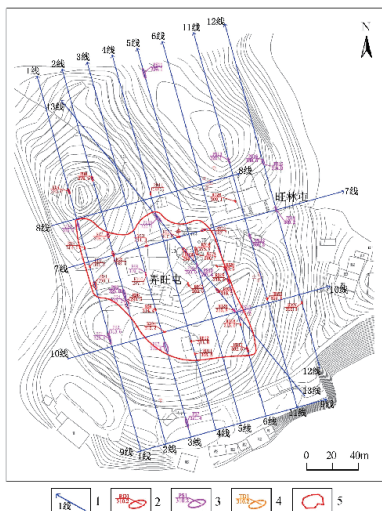


图2 物探工作布置及推断成果图

(三) CSAMT探测布置

发射区可结合接收点的测线方向和现场情况，将其布置在目标区域的正北方，按照EW方向布置发射极。该方向与接收侧线保持平行，中心点和接收区的距离控制在1200m左右。发射供电电极的实际距离在500m，通过电缆完成连接。向室内供电的电压为220v，接收区的布置为5m×3m的网格形式，测线距离为5m，测点为3m。在具体布置期间，需依据现场的情况作出相应的调整。测试点的数量为140个，电极测量点为148个。在实施瞬变电磁布局期间，可应用Nano TEM方式采集，使用矩形电源装置完成信号收发，测点距离为2m，并在前4条测线之间设置20个测点数量，5-8条测线之间设置30个测点，测点的总数量为212个。由于测区上方具有高压电线，通过现场测试可知，高压电线可对数据产生较为明显的影响。为保证数据的质量和探测的完成效果，可在CSAMT和现场数据采集阶段运用输电线停电等方法对干扰进行排除。此外，在收集现场数据期间，还可在首尾电极等位置进行特殊标记，并用厚层岩土改善电机接地条件，以此保证测试结果的准确性。

四、综合物探方法的实施

基于探测原理，可运用瑞雷波法准确锁定岩溶空洞的塌陷区域位置。但在覆盖土层的部分土洞无法通过勘探确定具体位置，这也降低了勘探结果的全面性。如果未被探测到的土洞进一步拓展，也会导致道路出现大面积的坍塌情况，这就需要使用探地雷达对覆盖土层当中的土洞进行补充测试。本文仅针对案例中的填方路堑作出细化说明，该路线的里程编号为D2K746+000 m—D2K746+240 m。

技术人员可先运用瑞雷波方法全面勘探工区，形成相应的图像，具体如图3。根据该图可知，瑞雷波在地下5m范围内的速度较为均匀。该区域的结构相对密实，并不存在土洞或破碎等情况。而面波在5m以下位置的变化更大，逐渐深入碳酸岩层。从瑞雷波成像图可知，浅表土层中并不存在异常情况。

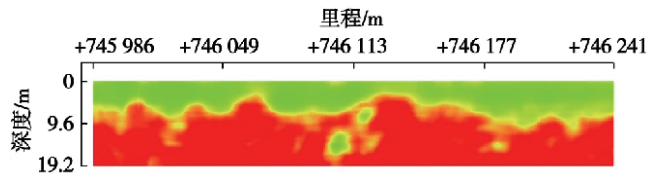


图3 填方路堑处瑞雷波法勘探成果

为改善使用瑞雷波方法实时勘探的弊端，尽量减少浅部土层中土洞无法得到全面勘测形成的隐患问题，可使用SIR-3000型号的雷达仪器进行补充探测。该仪器水平参数当中的扫描频率可设置为500s/次，天线中心频率为100MHz，样本的扫描比率可达到512，介电常数设置为7。完成数据的采集和整理后，可实施偏移校正和滤波的操作，从而获取填方路堑的雷达探测结果。由于本文篇幅有限，仅选择其中2处路段作为分析内容，具体见图4、图5。

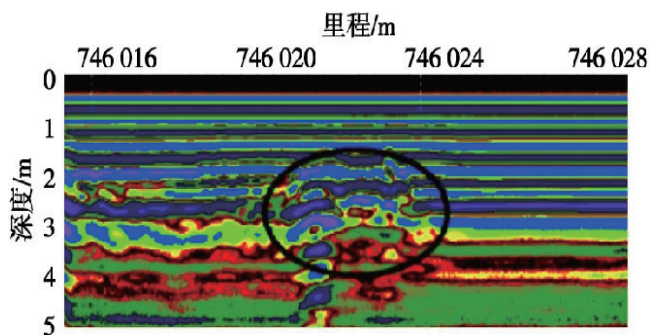


图4 路堑D2K746+016 m—D2K746+030 m段雷达剖面

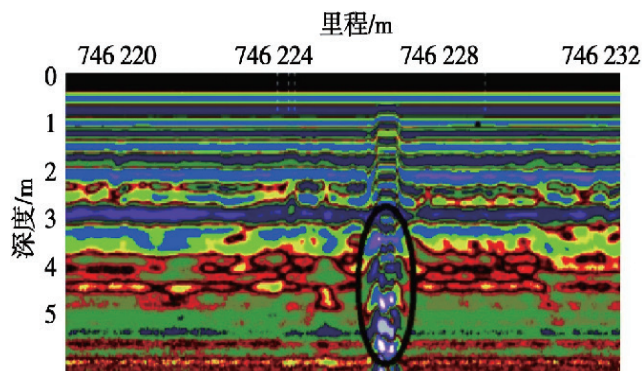


图5 路堑D2K746+220 m—D2K746+240 m段雷达剖面

通过分析雷达勘探剖面可以发现,使用瑞雷波方法进行勘探期间,并未在土层5米以内发现异常情况。通过补勘发现多处缺乏规则性、相对杂乱的电磁波。上述电磁波的能量较强,呈圆弧形,将其与Gpr Max2D软件形成的雷达结果进行对比可知,选择的填方路堑两处路段存在相对较小的松散区域,上述浅层异常主要由熔岩塌陷导致。通过后期钻探资料可知,该结果与综合物探分析结果相同,这也说明综合物探方法的使用效果相对理想。

五、结论与建议

本文结合瑞雷波、瞬变电磁法等方法参与勘探工作的效果进行综合分析,通过不同方法的优势融合实现对工区前方路线塌陷区的全面勘探,并在后期钻探资料当中得以验证,效果相对较好。第一,路面出现塌陷事故的主要原因在于隐伏岩溶。综合运用不同的物探方法可相对便捷和高效,在测试岩溶区的隐伏岩溶方面具有明显的应用价值。第二,探地雷达产生的电磁波遇水后会降低速度,在基岩覆盖层探测的应用效果相对理想,但在深处效果不佳。瑞雷波法的面波能够在碳酸层的洞穴勘探当中发挥明显的作用。将上述两种方法综合应用,便可全面提高勘探结果的准确性和深度,实现相对理想的勘探结果。第三,熔岩塌陷等灾害在具体实践期间,可综合应用物理量分析实施物探,以此全面解释工区的

地质情况,保证勘探数据的可靠性和完整性。

具体建议如下:

第一,可综合应用CSAMT和瞬变电磁共同参与探测,在具有较强电磁干扰的环境中地面塌陷区域发挥探测功能。其中CSAMT探测可达到的深度为200m,同时也会相对准确的判断出异常情况,但其在分辨率方面的劣势较为明显。瞬变电磁法的分辨率与CSAMT相比较为理想,但其探测深度也会受到目标深度介质的影响,可信深度可达到约100m,浅部盲区为10-20m。

第二,在对探测数据资料的处理期间,需依据已经掌握的资料确定边界,同时提高分析思维的精准性,为后续解释地质成果提供依据,

第三,如果探测环境中的干扰因素较多,需依据地形等特征选择适合的探测手段。搜集数据信息时也需注意排除干扰,保证数据质量。通过实践可知,CSAMT等方法在抗干扰等方面的应用效果较为理想。

结束语

总之,在开展地面塌陷探测工作过程,需要研究区域内地质构造,并运用综合物探方法,针对性的开展技术应用研究,提出更加完善的地面塌陷探测方案,进一步为防护施工工作开展提供有效技术保证。希望通过以上阐述,能加强综合物探方法在地面塌陷探测中的应用研究水平。

参考文献

- [1]刘永生,刘仁义,马瑞光.综合物探方法在地面塌陷场地勘查中的应用[J].岩土工程技术,2018,32(3):155-158.
- [2]彭艳华,吴奇,张雷.综合物探方法在城市排水管道地面塌陷隐患探测中的应用[J].中国科技信息,2021(08):54-55.
- [3]赵秀玲.地面及井下物探方法联合在矿井水患探测中的应用[J].内蒙古煤炭经济,2021(06):186-187.
- [4]吴保国.地面电法物探勘查在苏村矿多层煤采空区探测中的应用[J].当代化工研究,2020(18):66-67.
- [5]王菁.综合物探法在煤矿采空区探测中的应用[J].内蒙古煤炭经济,2019(23):18-19.
- [6]吴灿灿,杨光.综合物探方法在地面塌陷探测中的应用研究[J].安阳工学院学报,2019,18(04):67-70.
- [7]郭士礼,段建先,张建锋,等.探地雷达在城市道路塌陷隐患探测中的应用[J].地球物理学进展,2019,34(4):1609-1613.