

地球物理方法在地质灾害勘查中的应用

杨进 武炜

(中国地质大学 北京 100083)

摘 要 : 结合实例介绍了探地雷达、电法及地震勘探等方法在地质灾害中的应用效果 , 对其它方法如声波检测技术、重力测量及氦气测量等方法在地质灾害勘查中的应用进行了简要总结 , 并提出了目前地质灾害勘查中存在的一些问题。

关键词 地球物理方法 地质灾害勘查 探地雷达 电法勘探 地震勘探

中图分类号 : P631 文献标识码 : A 文章编号 : 1000 - 8918(2003)05 - 0333 - 05

地质灾害是自然灾害的主要类型之一 , 常见的有斜坡岩土体地质灾害(崩塌、滑坡、泥石流) , 地面变形地质灾害(地面沉降、地面塌陷、地裂缝) , 矿井地质灾害(地下采空区、煤层自燃、煤与瓦斯突出、岩爆、陷落柱) , 特殊岩土工程病害(膨胀土、盐渍土、软土、冻土、红土、砂土) , 土地荒漠化地质灾害(沙质荒漠化、水土流失、土地盐渍化、工矿型荒漠化) , 地下水资源恶化 , 水土环境异常 , 海岸带地质灾害(海水入侵、海岸侵蚀) 等类型。中国是世界上地质灾害最为严重的国家之一。据统计 , 我国每年因地震、崩塌、滑坡、泥石流、地面沉降、矿山地质灾害和土地荒漠化等灾害造成的直接经济损失高达 840 亿元人民币 , 由于地质环境的恶化而引发或加重的其它自然灾害所造成的间接损失更是无法估算。因此 , 依靠现代科学技术 , 多学科、跨部门联合攻关 , 全面、系统、深入地开展地质灾害研究对保护人民生命财产安全 , 减轻地质灾害损失 , 实现社会、经济的持续发展具有非常重要的意义。

近 50 年来 , 地球物理技术的应用范围得到了迅速的扩展。在地质灾害的监测、预报和防治工作中 , 地球物理方法发挥了巨大的作用。我国在长江三峡、西气东输、南水北调等国家重点工程中采用地球物理方法配合其它方法进行地质灾害勘查 , 均取得了较好的效果。

1 地球物理方法在地质灾害勘查中的应用

地质灾害地球物理勘查 , 从基本原理来说仍是

勘测地下介质的某些物理特性(密度、磁化率、电阻率、自然电位、弹性、介电常数、放射性和地温等) 的差异 , 探测的可靠性主要也取决于目标与周围环境物理特性的对比度、目标的埋深及盖层的特性等。并且物探方法与钻探等方法比较 , 具有工效高、成本低、装备轻便并且能够快速提供大面积的综合资料等优点。

1.1 探地雷达

探地雷达(简称 GPR) 是 20 世纪 70 年代发展起来的一种用于确定地下介质分布的广谱电磁法。自 80 年代末 90 年代初以来 , 随着信号处理技术和电子技术的飞速发展 , 探地雷达在技术装备上有了突破性的进展 , 大大扩展了该方法的应用领域。目前 , 探地雷达的应用已拓展到矿产勘查、环境工程、水文工程、城建工程、路桥、涵隧工程、水利水电工程、浅水水域工程、地质工程、考古调查、无损检测、桩基或混凝土检测等众多领域。任何地质灾害的发生都会在介质(土壤、岩层等) 中留下痕迹 , 即通常的介质界面 , 如地裂缝留下的裂隙、活动断裂留下的破碎带、滑坡留下的滑脱面以及塌陷留下的地穴或陷坑等 , 这些界面两侧介质的物性差异很大 , 致使电磁波穿过该界面时的反射能量发生增减、波形幅值出现明显变化 , 据此可解释出该界面的准确位置及大致形态等相关信息。探地雷达可用于^[3]勘查岩溶塌陷、地裂缝、滑坡、活动断裂、孤石体及小型不良地质体、地下洞室、煤田自燃区、陷落柱、多年冻土等地质灾害。

1.1.1 岩溶塌陷勘查^[1]

探地雷达在岩溶塌陷勘查中具有较大的优势。图1给出某岩溶探测工区中经钻探验证的雷达剖面。从图中可看出溶洞雷达图像的特点是被溶洞侧壁的强反射所包围的弱反射空间,溶洞底界面的反射则不太明显,当溶洞为空气或充水时,洞体内雷达波几乎是没有什么反射的,当溶洞充填了物质时,则可见一组较短周期的细密的弱反射。溶蚀裂隙与溶洞并无本质上的区别。当溶蚀裂隙扩大到一定程度时便成为溶洞,当溶蚀裂隙仅仅是充水裂隙时,由于周围岩石破碎、充水,因此在裂隙上形成雷达波的强反射,因此在雷达图像中可见到土层下部雷达波同相轴的错乱。

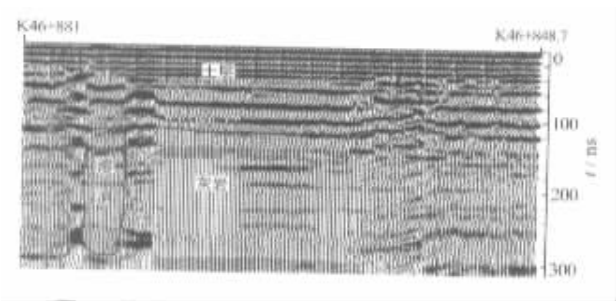


图1 某岩溶探测工区中经钻探验证的雷达剖面^[1]

1.1.2 煤田自燃区的探测^[2]

煤层自燃由自燃物质在一定条件下发生物理化学变化、热量聚积而引起。地下煤层燃烧不仅白白浪费大量宝贵资源,而且也威胁煤矿的安全生产。图2是煤层自燃区的探地雷达探测图像,图中A区为原煤区,B区为部分氧化煤,C区为完全氧化煤。在图中可直观清晰地看到煤层和自燃区的分布情况。由于煤层自燃,上覆砂岩逐次塌落,在地面上形成许多垂直裂缝,造成剖面反射波相位的不连续。

原煤层一般表现为反射波相位连续,而部分氧化煤(残留煤)表现为串珠状,煤厚减少,完全氧化煤则经过较充分的自燃,剖面上显示仅剩很薄或不清晰的煤层层位。图中原煤层分层特征明显,而完全氧化煤无明显反射界面,燃残留煤则界于二者之间。

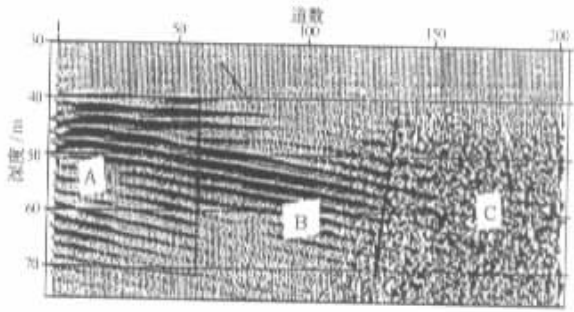


图2 煤层自燃区雷达探测图像及解释^[2]

1.2 电法勘探

电法勘探是当前国内外地质调查、找矿、找水和解决岩土工程问题的重要勘探方法。它利用岩(矿)石间电磁学性质及电化学性质的差异,通过观测和研究人工建立的或天然存在的电磁场空间和时间分布规律,来勘查地质目标和解决地质问题。在地质灾害调查中,电法是使用频率最高、应用面最广和解决问题较好的方法。表1给出各种电法方法在地质灾害勘查中的应用。

1.3 地震勘探

近年来,浅层高分辨率地震勘探、面波勘探等技术是针对工程地质问题的挑战应运而生的地震勘探技术,这些先进的技术勘查对象广、施工周期短、费用低、解决问题的准确性和精度较高。

1.3.1 浅层地震勘探

地震勘探要求探测深度一般不超过100~200m,

表1 各种电法方法在地质勘查中的应用*

电阻率法	对称四极剖面法	了解地下隐伏岩溶裂隙发育带、溶洞、暗河、断层破碎带、古河道等一些电性不均匀条带状地质体
	联合剖面法	探测岩溶塌陷带、溶洞、暗河或断层、岩脉、突水巷道及隐伏地裂缝
	中间梯度法	探测隐伏裂缝、溶洞、暗河或断层、岩脉及突水巷道
	电测深法	了解不均匀地电体(断层、溶洞)的分布情况,评价岩溶形成的基本条件和因素,选择坝址;划分咸、淡水界线,研究滑坡,研究泥石流,探测煤洞,勘测寒区多年冻土
	高密度电阻率法	勘查岩石体或土体中的隐伏空穴(岩溶、采空区等),确定暗河的存在位置、埋藏深度及空间分布形态,确定滑坡的电性结构,确定断层、裂缝的垂向延伸及倾向,探测煤田陷落柱,寻找地裂缝,勘测寒区多年冻土
充电法	充电法	查明地下河和地下溶洞的分布,检测煤田和矿区采区地下水动态,确定蓄水老巷道的位置及巷道的流向;查明由于地震、地面沉降或其它原因出现的地裂缝,研究滑坡,勘查崩塌
	自然电场法	查明岩溶发育区的地下水系分布规律,探测煤田火区,研究崩塌,探查地下采空区、老窿
	激发极化法	解决防病改水问题,地下矿区开采中地下水超前探进及探测煤层采空区积水,探测滑坡面,土坝的病坝诊断,探测危岩体内和裂缝内的地下水
	电磁法	
电磁法	VLF	滑坡地质调查,测定地裂缝影响带宽度
	音频大地电场法	调查危岩体的隐伏裂缝,隐伏溶洞、暗河及断层破碎带,预测矿山突水

* 杨方数据,地质灾害地球物理勘查调研报告,2003.

被探测对象的规模小 ,形态和岩性纵、横向变化大 ,要求有较高的分辨率 ,因此可以使用浅层高分辨率地震勘探。目前 ,该方法在地质灾害勘查中已获得广泛应用 ,取得了明显的社会效益和经济效益。例如唐山市、湘潭市、徐州市地面岩溶塌陷 ,西安市地裂缝地质灾害 ,三峡黄腊石滑坡 ,三峡链子崖危岩体防治和深圳市罗湖区地壳稳定性评价等均应用了浅层高分辨率地震勘探。在地质灾害勘查中 ,浅层高分辨率地震勘探可进行隐伏断层、破碎带、溶洞、土洞、古河道及暗河探查 ,勘查滑坡 ,勘查地裂缝 ,勘查多年冻土 ,进行饱和砂土层的液化判别 ,预测岩爆 ,探测煤矿陷落柱 ,探测煤层采空区 ,预测瓦斯富集带 ,预防井喷 ,探测煤矿突水巷道位置及埋深。

浅层地震勘探在岩溶塌陷灾害勘查中可以取得较好的地质效果 ,它可用于查明岩溶区的基岩地质条件和覆盖层地质条件 ,圈定出潜在岩溶塌陷危险区或地段。图 3 是在某工作区测得的地震时间剖面及相应的地质解释剖面 ,图中地下岩溶和岩溶塌陷清晰可辨。

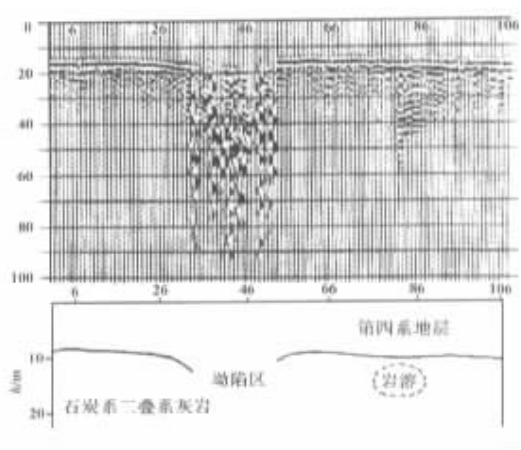


图 3 地震时间剖面及岩溶塌陷地质解释结果示意^[4]
地震勘探在滑坡勘查中可用于圈定滑坡体的范围、确定滑动面的深度和形状及查明滑坡区地下水的分布等。特别是当滑坡体含水甚微弱或呈干燥状态时 ,一般采用浅层高分辨率反射地震勘探方法效果较好。图 4 是某工区 1 条测线地震成果剖面展示。在该剖面上发现断层 1 处 ,可疑断层 1 处 ,滑坡体和可疑滑坡各 1 处。

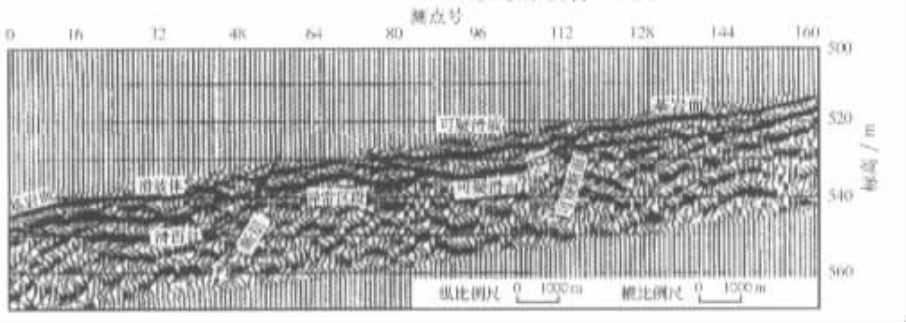


图 4 某工区 1 条测线地震深度剖面^[5]

1.3.2 面波勘探

面波勘探是近十几年来发展起来的一种新的浅层地震勘探方法 ,与传统地震勘探方法的差别在于它是利用了以前被视为干扰的面波—瑞雷波。瑞雷面波勘探有稳态法和瞬态法 2 种。为了克服这 2 种方法中存在的缺点 ,又发展了一种新的瑞雷面波勘探方法—瞬态多道瑞雷波勘探技术 ,它可以通过多次叠加和多道相关叠加 ,使得频谱能量加大 ,干扰减小 ,测试结果更为可靠。面波勘探在地质灾害勘查中可用于冻土勘查 ,滑坡调查 ,泥石流调查 ,地下空洞调查 ,饱和砂土层的液化判别 ,探测煤矿巷道顶板离层。

冻土是造成各类建筑物基础变形损毁的一种病害地质体 ,分为多年冻土和季节性冻土。在我国多年冻土的分布面积占国土面积的 21.5% ,是世界第三冻土大国。以前对冻土地区的勘探工作 ,大多以

工程地质测绘与调查为主要手段 ,重点区域采用钻探方法。实测资料表明^[6]面波技术进行冻土勘查具有较好的地质效果。

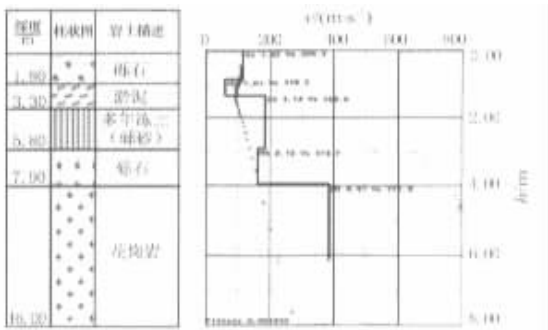


图 5 面波解释成果与钻孔对比

图 5 和图 6 给出不同测点面波勘探解释成果与钻探结果对比结果。从图 5 中可看出多年冻土上、下界面在频散曲线上有明显体现 ,且与钻孔结果对

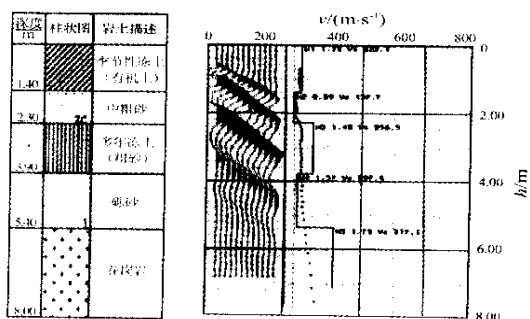


图6 面波原始记录解释成果与钻孔对比

比误差非常小。从图6中可知,当季节冻土与多年冻土存在不连续冻结层面时,用面波方法能精确分层。因此在冻土勘查中,可以利用面波勘探技术查明多年冻土上下限深度、边界范围及多年冻土与季节性冻土的存在关系。

1.4 其它方法

除以上几种方法外,可用于地质灾害勘查的地球物理方法还有声波检测技术、重力勘探、氦气测量等方法,这里仅对这些方法在地质灾害勘查中的应用进行简要的小结。

1.4.1 声波检测

声波测量是通过探测声波在岩土内的传播特征来研究岩土性质和完整性的一种物探方法,其信号频率通常可达 $n \times 10^3 \sim n \times 10^6$ Hz。声波检测技术在灾害地质中的作用,可归结为两个大的方面:一是灾害地质体的勘查,查明其构造及其有关物理力学参数(包括勘查断层、破碎带、滑坡体滑床等,探测地下岩溶、古洞、空洞、埋设物、矿区采空区等的空间位置及规模,查明地下构造、渗漏带、水流通道和方位,圈定破碎带位置和范围,预测岩爆等);二是对地质灾害防治工程施工过程中的监测及检测(包括检测岩体灌浆补强施工质量,检测混凝土灌注桩完整性,检测与评价地面混凝土构筑物强度,检测地面混凝土构筑物缺陷,检测边坡、洞室岩体爆破后松动范围,检测喷锚支护法喷射混凝土厚度等)。

1.4.2 重力勘探

重力测量是通过野外观测,获得有关地质体或地质构造产生的重力异常,然后通过分析研究这些重力异常的变化规律,以达到解决有关地质问题的一种地球物理探测方法。重力测量在土木工程、环境地质勘查等浅层探测方面的应用直到70年代以后出现高精度(微伽级)重力仪后才成为现实。

在灾害地质调查中微重力方法可用于探测近地表岩溶、洞穴、探测废矿山巷道以及规模较小的断

裂、断层等地质构造,探测煤矿陷落柱及地下采空区,勘探冻土。在水库、矿山巷道可以用微重力动态监测因岩层受力变化而可能诱发的岩爆,它还可用于滑坡、地面沉降及煤田火区的监测。然而,由于方法本身的局限性,如受各种干扰因素的影响强烈,测量成本较高、野外作业复杂以及探测目标重力异常微弱等,在一定程度上限制了该方法的应用。

1.4.3 氦气测量

位于铀系中的氦($^{222}_{86}\text{Rn}$)是一种放射性惰性气体,其半衰期较长,活动性强而化学性质稳定,易溶于水。凡是有物质存在的地方都存在氦,只是浓度不同而已。随着科学技术的发展,人们对氦气的认识也不断深化,氦气在国民经济各领域中的应用在不断扩大。近20年来,测氦被用于地质灾害和环境研究中,引起了世人的关注。

氦测量在地质灾害勘查中可用于查明断裂构造,预报滑坡,探测岩溶塌陷,探测地裂缝,在矿山地质灾害勘查中可用于探测地下采空区、勘查煤田自燃火区的范围、探测煤矿断层裂隙带、探测岩溶陷落柱等。氦气本身也可以形成地质灾害,同时有关研究证实,氦是导致肺癌的一个重要因素,因此氦气测量得到关注。

2 目前存在的一些问题

目前在地质灾害地球物理勘查过程中应特别注意以下几方面的问题。

(1)以往对地质灾害的勘查研究,多是在发灾以后以被动、应急、营救的形式进行工作,缺乏超前性、全面性、预见性,缺少总体控制。只有全面深入掌握我国地质灾害的分布、发展规律,及其类型、成因,才能有效地防治地质灾害。

(2)地质灾害勘查中,除了查清影响灾害形成和发展的因素外,还应注意查明诱发成灾的次要因素。在特定历史环境条件下某些次要因素可能转化为主要因素,如地震、洪灾诱发的滑坡、泥石流等。

(3)一般来说,大部分用于矿产勘查的地球物理方法同样可以用于地质灾害勘查。但地质灾害体具有地质构造条件复杂,所处地带地形起伏悬殊,场地狭小,被测目的物的几何尺寸相对较小(如裂缝、溶洞、断层破碎带、滑坡的滑带)等特性,因此具体的方法、技术指标和工作方式有所不同。为适应灾害地质勘查工作的需要,勘查时需将现有的地球物理技术和方法作适当的改变。同时应提高常规地球物理方法的分辨率,设法消除地形影响,增加勘探深

度 ,加强研究相应的现场测试方法 ,完善数据处理功能 ,研制、引进新型仪器。

(4)地质灾害种类较多 ,性质各不相同 ,涉及到的范围和领域也比较广泛。因此 ,地质灾害勘查中单靠某一种方法往往难以奏效 ,必须采用综合地球物理方法才能解决地质问题。不同地球物理方法的综合应用 ,不仅可以解决地表浅层(几厘米至几米)的地质问题 ,而且可以解决较深(几十米至几百米)层次的地质问题 ,为解决地壳浅部地质灾害的调查提供了有力的手段和可靠的方法。综合地球物理方法的应用效果在很大程度上也取决于方法技术的合理选择和有效的组合。同时针对具体地质灾害问题 ,应考虑经济条件、约束条件、及弱信息的识别能力等因素 ,缩小单一方法资料处理和解释的多解性。因此 ,应科学的选择地球物理的组合方法 ,以提高地质灾害的勘查效果。

(5)目前地球物理方法只用于各种地质灾害的监测及预报 ,今后除监测外应更多地转向对一些地

质灾害(如泥石流、沙漠化、旱灾等)的治理研究 ,了解治理的进程及其效果。

总之 ,地质灾害的地球物理勘查是一个前景十分广阔的领域 ,但还需要更多的实践和探索 ,不断提高技术水平 ,扩大应用范围 ,提高勘探水平。

参考文献 :

[1] 邓居智 ,莫撼 ,刘庆成. 探地雷达在岩溶探测中的应用[J]. 物探与化探 ,2001 ,25(6) :474 - 476.
[2] 宋雷 ,黄家会 ,南生辉. 地质雷达用于探测煤田自燃区的研究[J]. 煤炭科学技术 ,1999(12) :23 - 24.
[4] 刘保全. 浅层地震勘探在岩溶调查中的应用效果[J]. 物探与化探 ,1996(6) :474 - 477.
[5] 高志亮 ,刘永华. 环境地球物理勘探及在滑坡中的应用[J]. 西安工程学院学报 ,2001(2) :71 - 74.
[6] 车殿国 ,谢时雳. 地震勘探技术在岛状多年冻土勘察中的应用[J]. 工程勘察 ,2001(5) :65 - 67.

THE APPLICATION OF GEOPHYSICAL PROSPECTING TECHNIQUES
TO GEOLOGICAL HAZARD EXPLORATION

YANG Jin , WU Wei

(China University of Geosciences , Beijing 100083 , China)

Abstract : Geophysical prospecting techniques have been increasingly used in various aspects of exploration work. They can also be used in the monitoring , prediction , prevention and tackling of geological hazards. In this paper , the application effects of such geophysical methods as GPR , electric method and seismic exploration are discussed and the application effects of other methods are also summarized. Some problems concerning geological hazard exploration are put forward at the end of this paper.

Key words : geophysical prospecting methods ; geological hazard exploration ; GPR ; electric exploration ; seismic exploration

作者简介 : 杨进(1954 -) ,男 ,博士 ,教授 ,博士生导师 ,自 1982 年以来一直从事地球物理的教学科研工作。目前主要从事环境工程地球物理和计算机应用方面的研究。