

地球物理勘查方法在水文地质工程中的运用

文 / 张东生 山东正元地质资源勘查有限责任公司

摘要：水文地质工程的设计与建设效果会受到水文、地质等多种因素的影响，利用地球物理勘查方法开展现场勘测工作，能够顺利推进矿山水源与通道探查等相关工作，同时也能防范各种地质问题，提高工程完成效率。文章对高密度电阻率法、地面核磁共振法、地球物理测井法、瞬变电磁法等多种勘测方式的应用进行了浅析，旨在为水文地质工程勘测提供参考。

关键词：地球物理勘查方法；水文地质工程；运用分析

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.10.072

引言

所谓的水文地质工程，主要是指利用科学的地质原理及合适的工程技术手段，实现对地下水文环境的有效勘测、调查与分析。该类勘查方法包括多种技术手段，不同勘查法的工作原理、特点、优缺点存在差异性。因此，在选用地球物理勘查法时，应该根据被勘查现场的具体环境条件，选择合理的地球物理勘查法，确保最终的勘查结果。

一、高密度电阻率法在水文地质工程中的应用

高密度电阻率法在水文地质工程中，通常用于查明地下水水位埋深、含水层厚度、基底起伏等多项水文地质条件（如图1）。高密度电阻率法一般是基于多种岩性的电阻率差异性，实现对地下稳定电场变化情况的科学测量，以此获取岩层中相对于围岩为低阻或者是高阻体的位置信息，通过参考该信息，能够快速找到地下异常目的体。高密度电阻率法能够准确且迅速地查明地下水的水位埋深，进而为地下水资源量及其开发潜力的评

估工作提供可靠的参数。该勘查法也可以测量揭示基底的实际起伏情况，有利于为水文地质工程设计建设提供地下水的补给、径流、排泄等多项数据，更便于分析水文地质问题，保障水文地质工程建设效率及效果。不仅如此，高密度电阻率法在矿山通道探查方面有着重要作用，以天池煤矿露天矿坑为例，在对其过水通道进行探查时，能够正确识别出多处渗水通道异常情况，可助力煤矿安全开采。在具体的应用过程中，高密度电阻率法一般会在勘测区域布设大量的测点，使其形成密集测量网络，然后利用计算机技术及相关软件，收集、整理、处理大量的数据信息，并进行数据成像，以此掌握勘测区域范围内地下结构的电性空间分布特点，进而更好的圈定地下水位置，减少工程建设问题，保障后续资源开发利用效果及钻探施工作业质量。简而言之，在矿山水文地质工程中应用高密度电阻率法，有助于实现对矿山水源、岩溶的精准、高效勘查，同时也能提高矿山资源的开发利用的合理性与有效性^[1]。

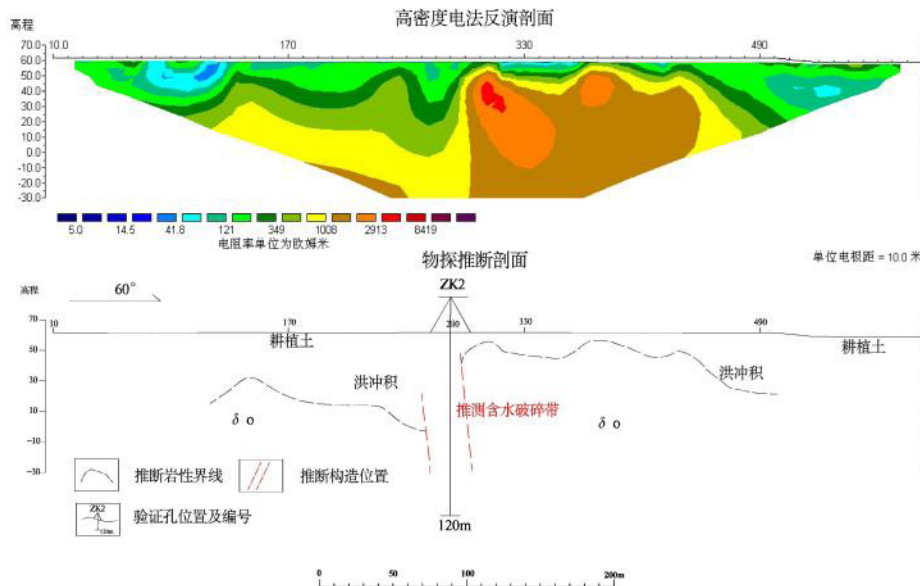


图1 高密度电阻率法的探测应用

二、地面核磁共振法在水文地质工程中的应用

地面核磁共振法在水文地质工程中主要负责找水工程、水文地质勘查、大坝渗漏勘查等多项工作。在找水

工程中，可以借助地面核磁共振法，精准探测地下水的具体位置，并大体估算含水量，以此提升干旱地区打井找水的成功率。地面核磁共振法是通过检测地下物质中

的氢原子核的磁共振信号,获取关于地下水文的数据信息,从而实现对地下水文情况的充分反映。该勘查技术不需要像传统勘查方法一样进行钻孔作业,勘查过程更加高效,勘查结果准确性也比较高。在应用地面核磁共振法时,应该提前准备地面核磁共振找水仪等专业设备,而且要对规范操作相关仪器设备,确保收集到地下水信息更加准确,以便为矿山防治水工程提供可靠的参考依据。比如,在大坝渗漏勘查中,可应用地面核磁共振找水仪等设备,检测大坝内部氢原子核的磁共振信号,通过分析明确大坝水文地质信息,确定大坝不同深度的实际含水量变化,同时也可以结合数据信息,科学预测大坝可能出现的渗漏路径,既能避免对大坝渗漏点的侵入探测,也能更好地维护与治理大坝^[2]。

三、地球物理测井法在水文地质工程中的应用

地球物理测井法常被用于水文地质勘查和探测作业,通过勘测井地层获取真实且丰富的钻孔信息,用以推断地质结构与环境,以此实现对水文地质问题的高效应对。该水文地质测量方法主要是借助专业仪器设备,利用地下水与周围介质在物理性质存在差异性这一原理,基于密度、导电性、导热性、弹性模量等相关物理性质,科学选用声、点、磁、放射性等测量方式,引用电子技术、计算机等高新技术,有效测量水文地质的物理性变化,从而推断出地下水的存在及其特点,为水文地质工程设计建设提供可靠的参数信息。若是地下岩层含有地下水,其含水饱和度、渗透率、矿化度、地层孔隙度等多种因素,就会对地下水的电导率、弹性波阻抗、磁性等物理性质产生一定的影响。而使用地球物理测井法测量地下水的物理性质变化情况,就能推断出钻孔中的出水裂隙段位置、岩层分界面位置、地下水含水层的分布情况等信息,及时发现水文地质问题,减少安全隐患^[3]。地球物理测井法主要涉及电阻率法、声波测井等,不同测井法在特点、适用范围等方面存在差异。在水文地质工程中,应结合实际情况,选择合适的方法对现场水文地质进行科学勘测,助力水文地质问题的解决。比如,电阻率法可以测量地下介质的电阻率变化情况,用以推断含水层的分布及埋深;声波测井技术能够利用声波对地质岩体质量予以全面分析与评价,有助于提升地质勘查工作质量。利用地球物理测井法可以测量与分析钻孔数据,基于地质构造与地下水流规律,实现对潜在的地下水通道或是渗漏路径的间接推断,助力地下水通道形成与演化的理解。

四、瞬变电磁法在水文地质工程中的应用

所谓的瞬变电磁法,就是基于电磁感应定律这一原理知识,通过不接地回线或是接地线源,直接向地下发射一次脉冲磁场,并在其间歇过程中,应用线圈或是接地电极,对地下介质产生的二次感应涡流场予以全面观测,以此探测出地下介质电性结构的一种方式。在水文地质工程中应用瞬变电磁法时,技术人员需要在勘测现场的地面或是空中设置连通相应的波形电流的发射线圈,使其在周围空间形成一次电磁场,与此同时,地下导电岩矿体中也会随

之产生相应的感应电流。在断电之后,该感应电流就会因为热损耗,再加上时间的推移逐渐衰减。在这种情况下,技术人员就可以分析因时间、二次场信号产生一定变化的相关规律,从而掌握各类地层的具体电性变化情况及不均匀地质体的实际分布情况。就实际来看,地下水的含水构造体与周围介质在电性方面存在差异性,利用瞬变电磁法可以对地下水的埋藏情况、分布状况、运动过程进行准确探测,有助于掌握水文地质现状,及时发现潜在通道,避免矿山水文地质工程中的各种隐患问题,同时也能够为矿山防治水提供助力。若是将其与其他勘探方法结合应用,还可以提高矿产勘查的准确性及可靠性。

五、激发极化法在水文地质工程中的应用

激发极化法就是利用岩石、矿石的激发极化效应这一原理,实现金属寻找、水文地质及工程地质问题解决的一种勘查技术。在水文地质工程中应用该勘查方法时,要使用专门的仪器设备测量地质介质在电场作用下的极化效应,以此实现对勘测区域内的含水层富水性、水质、通道走向的准确识别。激发极化法还被称为电法勘探法,在具体应用过程中,可以借助人工场对地质体进行有效激发,使其产生极化场,针对能充分反映出二次场振幅大小、衰减快慢的相关物理参数予以精准测量,其中就包括视电阻率、半衰时、极化率等。通过分析相关参数信息,正确判断含水体的富水性,使得最终的测量结果更具参考价值,这种测量方式在水文地质工程中的应用相对较为广泛。另外,在水文勘探中应用激发极化法时,也可以使用电阻率法的有关装置,比如,四级对称装置等。该勘测方式在地质勘查孔布设能够发挥出有效的指导作用,有利于减少水文地质勘探工作量,并能为地质勘探提供真实准确的现场测量区域内、潜水面的水位高程范围等重要数据^[4]。此外,激发极化法一般都与EH-4电导率成像系统结合在一起进行使用,而且在使用过程中需要先在异常区域开展剖面勘查工作,查明地下含水体的具体空间分布情况后,就要在异常点采用激发极化法开展勘测工作,进而判断含水体的富水性,以便明确潜在的地下水通道,帮助矿山企业第一时间发现并处理潜藏的水害隐患问题。

六、自然电场法在水文地质工程中的应用

地层中存在氧化还原、扩散、岩石颗粒吸附等多种反应过程,在其影响下会出现积聚电荷的现象,并因此形成自然电场。自然电场法就是借助该原理,通过对地层中局部自然电场变化情况的科学探测,实现对地下水的分布、流向以及污染状况等多个方面的合理推断,从而确定勘测现场的水文情况。具体来说,地下岩石或是矿石如果与地下水溶液相接触,就会产生氧化还原反应,进而出现电荷分布现象,最终形成电场。不仅如此,地下水通过岩石渗流与过滤时,二者则会产生电化学反应,并且会对电荷分布产生一定的影响。地下矿化溶液中存在离子,而且会在岩石界面上呈现扩散现象,岩石骨架对离子有吸附作用,这也会改变电荷分布情况,进而成为电场。若这些电场出现变化,那么地下水的水质、分

布及流向也会随之改变。通过自然电场法测量地下岩石的自然电场电位差异,从而获取地下水水质、分布状态、实际流向等多项数据信息,为后续矿山地下水资源的安全开发与利用提供依据^[5]。

七、雷达探测法在水文地质工程中的应用

雷达探测法在应用过程中,是通过发射与接收电磁波信号,结合地下介质对电磁波的反射、吸收特点,对地下结构的具体情况探测及分析的一种水文地质勘测方法。若将该勘查法其应用到水文地质工程中,则能实现地下水位的精准探测、含水层的准确识别、地质构造的科学分析,也便于开展矿山水资源评估及管理工作。利用雷达探测法对地下水位进行勘测时,可以根据雷达信号的反射特点,判断地下水的存在及其深度,特别是在无井少井地区,该勘查方法能为水文地质调查提供关键性的数据信息。含水层作为地下水储存和运移的重要场所,在水资源的开发和利用方

面占据着重要位置。应用雷达探测法识别含水层时,可以基于雷达信号在含水层中的传播特性与周围介质之间的差异性,分析雷达图像,精准识别含水层的具体分布情况及其特征。不仅如此,雷达探测法在地质构造分析中也能发挥出积极作用,可为水文地质工程提供地下岩石层、断层、裂缝等地质构造信息,有助于理解与掌握地下水的运移规律和地质环境的稳定性,及时发现其中存在的问题,在建设水文地质工程前做好应对,保障工程质量及建设安全。

另外,在使用雷达探测法时,应该对介电常数、时窗选择、天线中心频率干扰情况等予以充分考虑。针对介电常数,要结合实际经验确定其合理范围;选取时窗时,要立足于地层电磁波速度、最大探测深度的基础上进行科学估算;选择天线的中心频率,要注意杂波对其造成的干扰,保证最小分辨率达标的同时,也要确保雷达探测深度能够满足实际要求(如表1)。

表1 雷达天线探测参数表

天线类型	主频 (MHz)	脉宽 (ns)	可达深度 (m)	参考深度 (m)
单体屏蔽天线	100 (加强型)	10	5—30	10
低频组合天线	80	12	5—60	30
	40	25		
	35	30		
	20	50		
	16	60		
收发分离式低频天线	35	28	10—50	30
	70	14.3	5—30	20

八、浅层地震波反射波法在水文地质工程中的应用

浅层地震波反射波法主要是基于地震波反射原理进行水文地质勘探的一种方式。在具体应用过程中,通常需要借助专门的仪器设备,在地面上向下发射地震波,而地震波在传播期间会遇到弹性不一样的分界面,并且会被反射回地面,这时,地震勘探仪器就可以收集、记录被反射回来的地震波,以此对水文地质进行科学分析。由于反射回来的地震波会经过介质进行传播,所以其传播路径、振动强度、波形等多方面,会受到介质结构、弹性特点的影响,因此接收到的反射地震波在速度、波形等方面也会出现变化,技术人员可以据此推断地下地质体的具体结构与性质。浅层地震反射波法的有效应用,能够在地下水位勘测、基岩起伏确定、潜水面深度测量等方面发挥重要作用。在水文地质工程中应用浅层地震波反射波法时,可以通过分析反射波的特点,确定地下岩土层的具体分层结构,了解地下水的分布状况及流动情况,准确判断裂隙发育、岩体质量,使矿山水资源开发利用与矿山防治水工作更加顺利^[6]。另外,浅层地震反射波法本身具有精度高、效率高的优势,在多种水域工程及岩土工程勘查中能够得到有效的应用。以某围堤水域为例,在开展地质勘查工作时,可以应用浅层地震反射波法勘测淤泥层的起伏情况,将获取到的数据信息与钻探数据信息进行对比分析,能够发现该勘查法的数据精度较高,这也满足了相关工程的技术要求,也有助

于保障工程质量与安全。

结语

通过上述分析,地球物理勘查法是矿山水文地质前置工作的主要方法,其在水文地质工程中的合理应用,能够实现对勘测地区水文、地质条件的高效精准测量,能够为矿山水源、通道探查等提供重要的参考依据,助力水文地质工程规避各种问题。随着科学技术的不断发展,未来的地球物理勘查方法会更加先进,并且能够实现水文地质的科学化、精准化勘测。

参考文献

[1] 范育典. 地球物理勘查方法在水文地质工程中的应用研究 [J]. 中国金属通报, 2022 (003): 000.
 [2] 翟福勤. 地球物理勘查方法在水文地质工程中的应用 [J]. 科学与信息化, 2022 (15): 78-80.
 [3] 李海城. 地球物理勘查方法在水文地质工程中的运用分析 [J]. 数码-移动生活, 2023: 513.
 [4] 侯智源. 地球物理勘查方法在水文地质工程地质中的应用探讨 [J]. 中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术, 2021 (4): 221-221.
 [5] 徐海翔. 地球物理勘查方法在水文地质工程地质中的应用 [J]. 百科论坛电子杂志, 2022 (20): 145-147.
 [6] 王威. 地球物理测井技术在矿区水文地质勘查中的应用研究 [J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2022 (4): 83-85.