

Application of hydrogeological exploration technology in groundwater resources exploration

Xiaoyu Chen Biao Li

Liaoning Province Geological Mineral Survey Institute Co., Ltd., Shenyang, Liaoning, 110034, China

Abstract

As a vital component of water resources, groundwater plays a crucial role in ensuring residents' livelihoods, promoting industrial and agricultural development, and maintaining ecological balance. Hydrogeological exploration technology, serving as a key method for acquiring groundwater information, directly impacts the accuracy and efficiency of groundwater exploration. This paper focuses on the application of hydrogeological exploration techniques in groundwater investigation. The first section highlights the significance of this research. The second section elaborates on commonly used hydrogeological exploration technologies including drilling techniques, geophysical exploration, remote sensing, and hydrological testing. The third section analyzes specific applications of these technologies in different regional groundwater exploration scenarios. It is hoped that this study will provide valuable references for groundwater exploration efforts and promote rational development and utilization of groundwater resources.

Keywords

hydrogeological exploration technology; groundwater resources exploration; drilling technology; geophysical exploration technology; remote sensing technology

水文地质勘查技术在地下水资源勘查中的应用

陈晓宇 李彪

辽宁省地质矿产调查院有限责任公司, 中国·辽宁 沈阳 110034

摘要

地下水资源为水资源的重要组成部分,其在保障居民生活、促进工农业发展和维护生态平衡等众多方面均发挥着关键的作用。而水文地质勘查技术作为获取地下水资源信息的重要手段,其应用效果直接影响着地下水资源勘查的精度和效率。本文就围绕着水文地质勘查技术在地下水资源勘查中的应用展开相关的研究,第一部分提出了相关研究的重要性,第二部分着重介绍了钻探技术、物探技术、遥感技术、水文试验技术等常用的水文地质勘查技术,第三部分为分析了这些技术在不同类型区域地下水资源勘查中的具体应用。希望本文能够旨在为地下水资源勘查工作提供参考意义,推动地下水资源的合理开发与利用。

关键词

水文地质勘查技术; 地下水资源勘查; 钻探技术; 物探技术; 遥感技术

1 引言

水是生命之源,它是人类社会不可或缺的重要资源。而地下水资源作为水资源的重要构成,具有分布广泛、水质较好、调蓄能力强等特点,因此在全球水资源供应中占据着重要地位。尤其是在地表水资源短缺或分布不均的地区,地下水资源更是维系区域经济社会发展的关键支撑。但随着人口增长和经济社会的快速发展,人们对于地下水资源的需求在日益增加,同时不合理的开发利用还引发了一系列的问题,如地下水位下降、水质污染、地面沉降等。为了实现地下水资源的可持续利用,准确地掌握地下水资源的分

布、储量、水质及运移规律变得至关重要,而这些都离不开先进的水文地质勘查技术。

水文地质勘查技术经过多年的发展,已从传统的钻探取样逐渐地向多元化、智能化方向演进。正是各种技术的结合应用,才能够更加全面、准确地获取地下水资源信息,进而为地下水资源的合理开发、科学管理和有效保护提供有力的技术支持。因此需要深入地研究水文地质勘查技术在地下水资源勘查中的应用,本文就将对常用的水文地质勘查技术及其在地下水资源勘查中的具体应用进行详细地探讨,并结合实际案例分析其应用效果,必然能够为相关实践工作提供借鉴。

【作者简介】陈晓宇(1992-),女,中国辽宁大连人,本科,高级工程师,从事水工环地质研究。

2 常用的水文地质勘查技术

2.1 钻探技术

钻探技术作为地下水资源勘查中最传统、最直接的方法之一,主要是通过利用钻探设备向地下钻孔,获取到岩芯、土壤样品和地下水样,以此了解地下岩层结构、含水层分布、地下水埋深及水质等信息^[1]。但随着技术的不断发展,钻探技术也在不断地革新,其已从最初的冲击钻探到现在的回转钻探、金刚石钻探等等,钻探效率和精度均有了显著的提高。像回转钻探,凭借其钻进速度快、岩芯采取率高的特点,在大多数地质条件下得到了广泛地应用。而金刚石钻探则更适用于坚硬岩层,它能够获取高质量的岩芯样品,为准确判断岩层性质和含水层特征提供了更可靠的依据。实际在钻探的过程中,还可以结合测井技术,即通过在钻孔中放置各种测井仪器,测量出地下岩层的电阻率、自然电位、声波速度等物理性质,从而进一步分析含水层的分布和渗透性。

2.2 物探技术

物探技术利用了地下各种岩(土)体和地下水的物理性质差异,该方法的原理是通过观测和分析地球物理场的变化,推断出地下地质结构和地下水分布情况的技术方法。它具有成本低、效率高、覆盖范围广等优点,已然在地下水资源勘查中发挥着重要的作用。现阶段,常用的物探技术包括电法勘探、磁法勘探、地震勘探、重力勘探等。所谓电法勘探,就是通过测量地下不同部位的电阻率、极化率等参数来推断地下水分布,其中高密度电法能够快速准确地获取地下电阻率剖面,进而清晰地反映出含水层的分布范围和埋深;磁法勘探则主要被用于寻找与地下水相关的地质构造,如断层、破碎带等等,因为这些构造往往是地下水运移和赋存的重要通道;地震勘探需要通过激发地震波并接收其反射信号,来分析地下岩层的界面和结构,一般情况下可用于确定含水层的厚度和分布;重力勘探主要通过测量重力场的变化,来推断地下密度异常体,它能够寻找富水区域提供线索^[2]。

2.3 遥感技术

遥感技术需要以卫星、飞机等平台上的传感器为基础,获取地表及地下一定深度范围内的电磁波信息,对其经过处理和分析,即可提取与地下水资源相关的信息。因为遥感技术具有覆盖范围广、获取信息快、周期性强等特点,所以其能够为地下水资源勘查提供宏观的、动态的信息。基于遥感影像,可以识别地表水体、植被分布、地形地貌等,而这些信息与地下水资源的分布密切相关。例如植被的生长状况在一定程度上反映了地下水资源的丰富程度,干旱地区的绿洲往往与地下水位较高的区域相对应,地形地貌则影响着地下水的补给、径流和排泄。此外遥感技术还可以用于监测地下水位变化和地表沉降等,它可以为地下水资源的管理和保护提供依据。

2.4 水文试验技术

水文试验技术主要是通过人为改变地下水的水力条件,

来观测地下水的动态变化,进而获取含水层水文地质参数的技术方法。实践中水文试验技术能够为地下水资源评价和开发利用提供关键的参数支持,如渗透系数、导水系数、储水系数等等^[3]。而常用的水文试验有抽水试验、注水试验、示踪试验等。其中抽水试验是在钻孔中抽取地下水,再经过观测周围观测孔的水位变化分析出水位下降曲线和恢复曲线,从而确定含水层的水文地质参数;注水试验则是向钻孔中注入水,然后观察水位上升情况和水量变化,比较适用于渗透性较差的含水层;而示踪试验需要在地下水上游投放示踪剂,同步在下游观测示踪剂的出现时间和浓度变化,最终确定出地下水的运移路径和流速。

3 水文地质勘查技术在不同类型区域地下水资源勘查中的应用

3.1 平原区

平原区作为人类聚居和农业生产的核心区域,其地下水资源勘查需兼顾资源量评估与开发安全性。该区域以第四系松散沉积层为主,含水层厚度通常在50-200米之间,且孔隙水赋存于砂层、砂砾石层中,呈现为水平分带性特征^[4]。基于此,辽宁地矿集团在辽河平原的勘查中创新采用了“立体勘查体系”,进而实现了地下水资源的精准定位。

首先在勘查初期,采用SPT标准贯入试验与岩芯取样相结合的方法,对于沉积层进行了分层划分。即通过XY-4型钻机施工30个控制钻孔,孔深达150米,最终获取的岩芯显示该区域存在三层主要的含水层。其中第一层为全新统冲积砂层(埋深5-15米),颗粒分选性好,渗透系数为8-12m/d;第二层为上更新统洪积砂砾石层(埋深30-50米),含砾量达到了30%,渗透系数是15-20m/d;第三层则为中更新统冲积砂层(埋深80-100米),其夹黏性土透镜体,渗透系数为5-8m/d。再结合声波测井数据,绘制出各含水层的空间分布模型,最后发现第二层含水层在区域中部形成了面积约200km²的富水透镜体。其次在物探工作当中采用高密度电法(电极距10米)进行了1:5万比例尺扫描,布设测线总长为500公里,以此获取的电阻率剖面清晰地显示了含水层与隔水层的电性差异(含水层电阻率20-50Ω·m,隔水层>100Ω·m)。而数据处理时还引入了三维反演技术,借助该技术构建的地下电性结构模型与钻探结果吻合度达90%,成功地圈定出两处富水区块,其单井涌水量可达800-1200m³/d。此外是水文试验阶段,在典型地段开展了多降深抽水试验,共计选用8英寸深井泵,设置了3个降深等级(5m、10m、15m),每个降深稳定在8小时。之后通过对观测孔水位数据的分析,计算出第二层含水层的导水系数为180-250m²/d,储水系数是3×10⁻⁴,证实该层具有强富水性和良好调节能力。基于上述这些参数,再采用有限差分法即可预测区域地下水可开采量为1.2亿m³/年,该数据为制定农业灌溉规划提供了科学的依据。

3.2 山区

因为山区地下水资源勘查面临地形切割剧烈、地质构造复杂的挑战,所以辽宁地矿集团在辽东山区的实践中,建立了“遥感解析-物探定位-钻探验证”的递进式技术流程,最终有效地破解了裂隙水和岩溶水的勘查难题。一方面在遥感解译采用了“哨兵-2A”卫星影像(分辨率10米)与无人机航测(分辨率0.5米)数据融合技术,经由波段组合提取了植被指数、坡度坡向等因子,从中圈定出3类富水异常区:一是坡度 $< 15^\circ$ 的坡麓地带,且植被覆盖率 $> 70\%$,指示为浅层裂隙水富集;二是线性构造交汇区,通过主成分分析识别出5条区域性断裂,其交汇部位形成了地下水运移通道;三是碳酸盐岩分布区的负地形(洼地、漏斗),暗示为岩溶发育。另一方面是物探工作,针对于不同靶区采用了特定的技术组合:对断裂带采用地震反射法(主频40Hz),获取了1000米深度内的反射剖面,如抚顺某矿区识别出3条倾角 60° 的正断层,且破碎带宽度为5-15米,表明其为地下水的主要导水通道;对岩溶区则采用频率域电磁法(FDEM),即通过测量500Hz-10kHz频段的电磁场响应,圈定出直径 > 50 米的溶洞引起的低阻异常,与钻探结果对比误差 $< 10\%$ 。此外在示踪试验当中还选用了荧光素钠与罗丹明B两种示踪剂,然后在不同的水文单元之中进行对比测试。像岫岩县岩溶流域,于上游溶洞投放了1kg荧光素钠,同步在下游12个监测点采用便携式的荧光仪进行实时地监测,最后发现12小时后在5km外的泉点检出信号,以此计算地下水流速为0.42m/s,证实存在完整的地下暗河系统。而通过示踪试验绘制的水流路径图,得以揭示出该区域岩溶水沿NE向断裂带运移的规律,据此优化了供水井布局,使单井出水量提升了40%。

3.3 滨海区

滨海区地下水资源勘查需重点解决海水入侵监测与咸淡水界面识别问题,为此辽宁地矿集团在辽东湾沿岸的工作中,构建了“立体监测-动态模拟”的技术体系,该体系为水资源保护提供了更为全面的解决方案。具体来说:钻探工作采用了“分层止水”工艺,凡在营口滨海平原施工15眼监测孔,孔深为50-80米,共设置3-5个监测段。随后通过水土样分析,确定出咸淡水界面埋深8-12米,其中 Cl^- 含量 $> 1000mg/L$ 的咸水区分布于海岸线向内5km范围内。接着采用X射线荧光光谱仪来分析岩芯样品,最后发现黏土层中蒙脱石含量 $> 20\%$ 的区域,对于海水入侵具有明显阻滞作用,据此划分出3个防污性能等级区。而物探技术创新应用了“时间域电磁法(TDEM)+激发极化法”组合,借助TDEM测量地下瞬变电磁场,以此获取100米深度内的

电阻率结构,随即清晰地区分咸水层(电阻率 $< 5\Omega \cdot m$)与淡水层(电阻率 $20-50\Omega \cdot m$)。再结合激发极化法测量极化率差异,发现污染区因存在着导电性离子,极化率比清洁区高3-5个百分点。动态监测系统则由12个自动监测站组成,还配备了水位计(精度 $\pm 0.5cm$)、电导率仪(精度 $\pm 10\mu S/cm$)和自动采样器,采集的数据通过4G网络实时地进行传输。据监测数据显示,枯水期海水入侵速率达1.2m/d,丰水期因河流补给退缩0.8m/d,呈现出明显的季节性波动。最后为水文试验方面,在防潮堤内侧开展了现场渗透试验,主要采用了双环法测定包气带渗透系数,结果显示粉质黏土层渗透系数 $< 1 \times 10^{-7}cm/s$,表明具有良好防渗性能。因此建议采用“防渗帷幕+人工回灌”方案。

4 结语

综合全文来看,水文地质勘查技术在地下水资源勘查中具有不可替代的作用,其应用能够为地下水资源的合理开发、科学管理和有效保护提供准确、全面的信息。本文主要介绍了钻探技术、物探技术、遥感技术和水文试验技术,以及其在不同类型区域的地下水资源勘查中所具备的优势,但相互配合使用才能够提高勘查的精度和效率。虽然水文地质勘查技术的合理应用能够解决地下水资源勘查中的诸多问题,如确定地下水资源分布、评估水资源量、查明地下水污染情况等。但是随着地下水资源勘查难度的不断加大,现有技术也面临着一些挑战,如在复杂地质条件下的勘查精度有待提高、技术集成应用不够成熟等等。所以还需进一步加强水文地质勘查技术的研发与创新,持续地推动技术的智能化、自动化发展,以此提高在复杂地质条件下的勘查能力。同时还需加强不同技术的集成应用,旨在实现多源信息的融合与分析,进而为地下水资源勘查提供更全面、更可靠的技术支持。

参考文献

- [1] 徐扬.地质勘查技术在矿山勘查与开发中的具体应用[J].冶金与材料,2025,45(06):118-120.
- [2] 冯燕青.综合物探方法在煤矿水文地质勘查中的应用研究[J].煤炭新视界,2025,(01):170-171.
- [3] 盛超宾.水文地质勘查技术在地下水资源勘查中的应用[J/OL].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2024(3)[2024-03-01].<https://www.cqvip.com/doc/journal/2010228899259712512>.
- [4] 魏强.水文地质勘查技术在地下水资源勘查中的应用研究[J/OL].中文科技期刊数据库(全文版)自然科学,2025(3)[2025-03-21].<https://www.cqvip.com/doc/journal/2010256344672084481>.