

# 瞬变电磁法在储水构造探测中的优化与实践

王雪奇

内蒙古一一五地质矿产勘查开发有限责任公司 内蒙古 乌兰浩特 137400

**摘要：**瞬变电磁法基于电磁感应原理，具探测深度大、对低阻体敏感等特点，适用于储水构造探测。本文阐述其基本原理与储水构造特征，分析探测可行性，提出数据采集、处理及仪器设备性能优化策略。通过孔隙含水层和岩溶发育区两个实践案例，验证了方法的有效性。对比不同优化策略效果，指出该方法存在局限性，但在水资源勘探、工程建设等领域应用前景广阔，未来结合新技术将发挥更大作用。

**关键词：**瞬变电磁法；储水构造；探测优化

引言：水资源是人类生存与社会发展的关键要素，准确探测储水构造对合理开发利用水资源意义重大。瞬变电磁法作为一种地球物理勘探方法，凭借其独特优势在储水构造探测中备受关注。它基于电磁感应原理，能通过观测二次电磁场衰减特性推断地下介质电性分布，为识别储水构造提供依据。然而，实际应用中面临诸多挑战，需不断优化方法。本文将深入探讨瞬变电磁法在储水构造探测中的优化策略与实践应用，为其发展提供参考。

## 1 瞬变电磁法基本原理与储水构造特征

### 1.1 瞬变电磁法的基本原理

瞬变电磁法是基于电磁感应原理的地球物理勘探方法，其工作过程主要分为激发和观测两个阶段：通过发射线圈向地下发射脉冲式一次电磁场，在一次场消失的瞬间，地下导电介质会因电磁感应产生涡流，涡流形成的二次电磁场随时间逐渐衰减，利用接收线圈观测二次电磁场的衰减特性，进而推断地下介质的电性分布。二次电磁场的衰减规律与地下介质的电阻率、规模及形态密切相关。低阻介质中涡流衰减较慢，高阻介质中衰减较快。通过对二次场衰减曲线的分析和解译，能够确定地下不同深度范围内介质的电阻率差异，从而为识别储水构造等地质体提供依据。

### 1.2 储水构造的地质与电性特征

储水构造是指能够储存和运移地下水的地质体，其地质特征多样。常见的储水构造包括孔隙含水层、裂隙含水层和岩溶含水层等。孔隙含水层多分布于松散沉积层中，由砂土、砾石等组成，孔隙发育，是地下水储存的主要空间；裂隙含水层主要发育在坚硬岩石的裂隙中，地下水赋存于岩石的构造裂隙、风化裂隙等之中；岩溶含水层则多见于碳酸盐岩分布区，因溶蚀作用形成溶洞、溶沟等，具有良好的储水和导水性能；从电性特

征来看，储水构造通常表现为低阻特性。这是因为地下水的电阻率较低，当岩石或土层中含有一定量地下水时，其整体电阻率会明显低于不含水的介质。例如，孔隙含水层因孔隙中充满地下水，电阻率往往低于周围干燥地层；岩溶含水层中，溶洞内的地下水使该区域呈现低阻异常。这种电性差异为瞬变电磁法探测储水构造提供了重要的物理基础<sup>[1]</sup>。

### 1.3 瞬变电磁法探测储水构造的可行性分析

瞬变电磁法探测储水构造的可行性主要源于储水构造与周围介质的电性差异。如前所述，储水构造因含地下水而表现为低阻特征，与不含水的高阻围岩形成鲜明对比，这种电阻率差异能够被瞬变电磁法灵敏捕捉。同时，瞬变电磁法具有对低阻体敏感的特点，能够精准识别地下低阻异常区，这与储水构造的低阻特性高度匹配。另外，该方法探测深度范围广，可适应不同埋藏深度的储水构造探测需求，且野外工作效率高、成本相对较低，能够实现大范围快速勘探。综合来看，瞬变电磁法在储水构造探测中具有坚实的理论基础和实践可行性。

## 2 瞬变电磁法在储水构造探测中的优化策略

### 2.1 数据采集参数优化

数据采集参数的合理设置直接影响瞬变电磁法探测结果的质量，发射与接收线圈参数是关键优化对象：线圈尺寸需根据探测深度需求选择，大尺寸线圈适合深层探测，小尺寸线圈则适用于浅层高精度探测；线圈匝数与发射电流强度共同影响一次场的强度，匝数越多、电流越大，一次场激发的二次场信号越强，尤其在高阻地层中，可增强信号的可识别性。观测系统参数也需优化，测线布置应根据探测目标的走向和范围确定，确保测线密度能够反映储水构造的形态特征；采样时间窗口的选择要兼顾浅部和深部信息，早期时间窗口可反映浅部介质特性，晚期时间窗口则对应深部信息，合理设置

采样间隔，避免信息遗漏。此外，发射频率需与探测深度匹配，低频信号穿透力强，适合深层探测，高频信号分辨率高，适用于浅层探测。



测线布置与储水构造走向匹配示意图

## 2.2 数据处理方法优化

数据处理是提升瞬变电磁法探测精度的重要环节。噪声压制是数据处理的首要任务，常见的噪声包括电磁干扰、人文噪声等。可采用小波变换去噪法，通过多尺度分解将信号与噪声分离，保留有效信号；对于周期性干扰，可采用匹配滤波法进行压制，提高数据信噪比。反演解释方法的优化同样关键，传统的一维反演适用于水平层状介质，对于复杂储水构造，需采用二维或三维反演方法。二维反演可获得测线方向的电性剖面，三维反演能更直观地呈现储水构造的空间形态。在反演过程中，需合理设置初始模型和约束条件，结合地质资料对反演结果进行校正，减少多解性，提高解释的准确性。

## 2.3 仪器设备性能优化建议

仪器设备的性能直接影响数据采集的质量和效率，针对储水构造探测需求，建议提升仪器的灵敏度，尤其是接收线圈的感应灵敏度，以捕捉微弱的二次场信号，增强对深部低阻储水构造的识别能力。增强仪器的抗干扰能力也至关重要，可通过优化电路设计、采用屏蔽技术等方式，减少电磁干扰和工频干扰对数据采集的影响<sup>[2]</sup>。此外，改进数据存储与传输功能，采用大容量存储介质和高速传输接口，确保野外数据的完整存储和快速传输，提高工作效率。同时，仪器应具备良好的稳定性和适应性，以应对复杂的野外工作环境。

## 3 瞬变电磁法在储水构造探测中的实践应用

### 3.1 野外工作流程与技术要求

野外工作需遵循严格的流程和技术要求，前期准备阶段，要详细收集测区的地质、水文资料，进行现场踏勘，明确探测目标和范围，制定合理的工作方案。测网布设需根据探测精度要求确定，测线方向应与储水构造的走向垂直或大角度相交，以获取最佳的探测效果。

仪器调试是确保数据质量的关键，在正式采集前，需对发射和接收线圈的参数、仪器的灵敏度等进行校准，保证仪器处于最佳工作状态。数据采集过程中，要严格按照设计的参数操作，每完成一定数量的测点，需进行重复观测，检验数据的稳定性。做好原始数据的记录和存储，标注测区的地形、地物等信息，为后续数据处理和解释提供参考。数据采集完成后，及时对原始数据进行质量检查，剔除不合格数据，并对数据进行初步处理，确保数据的有效性。若发现数据存在异常，需分析原因并进行补测，保证数据的完整性和可靠性。



瞬变电磁法野外数据异常补测作业现场如图所示

### 3.2 案例一：某孔隙含水层储水构造探测

#### 3.2.1 测区概况与地质背景

该测区位于平原地区，地表为第四系松散沉积物，主要由黏土、砂土和砾石组成。区域内地下水主要赋存于下部的砂卵石层中，该层为主要的孔隙含水层，是本次探测的目标储水构造。测区地形平坦，交通便利，但存在一定的电磁干扰，主要来自周边的电力线路和工业设施。

#### 3.2.2 探测方案与实施

根据测区地质条件和探测目标，采用瞬变电磁法进行探测。选择 $20m \times 20m$ 的矩形发射线圈和 $10m \times 10m$ 的接收线圈，发射电流为 $5A$ ，发射频率为 $25Hz$ ，采样时间窗口设置为 $0.1ms-100ms$ 。测线沿南北方向布设，共布设测线5条，测线间距 $50m$ ，测点间距 $20m$ 。野外工作前，对仪器进行了严格校准，确保各项参数符合设计要求。数据采集过程中，避开了电磁干扰强烈的时段，对每个测点进行3次重复观测，取平均值作为最终数据。同时，详细记录了测区的地表状况和干扰情况。

#### 3.2.3 成果分析与验证

数据处理采用小波变换去噪和二维反演方法，得到测区的电阻率剖面。剖面上显示，在地下 $20-50m$ 深度范

围内存在明显的低阻异常区，电阻率值为 $10\text{-}30\Omega\cdot\text{m}$ ，推断为孔隙含水层储水构造。低阻异常区呈层状分布，连续性较好，与区域地质资料中砂卵石层的分布特征相符。为验证探测成果，在低阻异常区布置了3个钻孔。钻探结果显示，在 $20\text{-}50\text{m}$ 深度范围内确实存在厚层砂卵石层，富水性良好，与瞬变电磁法探测结果一致，表明该方法在孔隙含水层储水构造探测中具有较高的精度。

#### 4 瞬变电磁法探测储水构造的效果评价与应用前景

##### 4.1 不同优化策略的效果对比评价

数据采集参数优化后，探测信号的信噪比显著提高。与未优化参数相比，优化后的线圈尺寸和发射电流使二次场信号强度提升了 $30\%\text{-}50\%$ ，尤其是在深部低阻体探测中，信号的可识别性明显增强；合理的采样时间窗口设置，使浅部和深部信息均得到有效保留，数据的完整性提高。数据处理方法优化对成果精度提升作用明显，小波变换去噪后，数据中的噪声干扰减少，信号的平滑度提高，反演结果更稳定；二维和三维反演方法的应用，较一维反演能更准确地反映储水构造的形态和空间分布，解释误差降低 $20\%\text{-}30\%$ 。仪器设备性能优化后，野外工作效率提高，数据采集的稳定性增强。新型高灵敏度仪器对微弱信号的捕捉能力提升，在复杂电磁环境下的抗干扰能力明显优于传统仪器，有效数据率提高 $15\%$ 以上。

##### 4.2 瞬变电磁法在储水构造探测中的局限性

瞬变电磁法在储水构造探测中也存在一定局限性。受地表电性不均匀影响，如浅部存在低阻覆盖层或高阻体时，会对二次场信号产生干扰，导致深部储水构造的识别精度下降。该方法对高阻储水构造的探测效果相对较差，高阻储水构造（如某些裂隙含水层因含水性差而呈高阻）的二次场信号弱，难以与周围高阻围岩区分<sup>[4]</sup>。瞬变电磁法的解释存在多解性，不同地质体可能产生相似的电性异常，需要结合其他勘探方法进行验证。在地形复杂区域，如山区、陡崖等，线圈布设困难，会影响数据采集质量，限制了该方法的应用效果。

##### 4.3 应用前景展望

随着技术的不断发展，瞬变电磁法在储水构造探测中的应用前景广阔。在水资源勘探领域，可用于干旱半干旱地区找水、地下水污染区边界圈定等，为水资源合理开发利用提供依据。在工程建设中，该方法可用于探测基坑涌水、隧道突水等潜在的储水构造，为工程安全施工提供保障。结合物联网技术，实现数据的实时传输和处理，可进一步提高探测效率；与地质雷达、地震勘探等方法融合，形成多方法联合勘探技术，能有效降低解释多解性，提升储水构造探测的精准度。未来，随着仪器设备的小型化、智能化及数据处理算法的优化，瞬变电磁法将在储水构造探测中发挥更大作用，为水资源可持续利用和生态文明建设提供有力支撑。

#### 结束语

瞬变电磁法在储水构造探测中展现出显著优势与潜力，通过数据采集、处理及仪器设备性能等方面的优化，有效提升了探测精度与效率。实践案例充分证明其在不同地质条件下探测储水构造的可靠性。尽管该方法存在受地表电性不均匀影响、对高阻储水构造探测效果差等局限性，随着技术进步，与物联网、其他勘探方法融合，以及仪器设备和算法的持续优化，瞬变电磁法将在储水构造探测领域发挥更为重要的作用，为水资源保护与利用提供坚实保障。

#### 参考文献

- [1]李正，庞成宝，高晓丰，等.大定源回线装置瞬变电磁法在浅层煤矿采空区勘查中的应用[J].山东国土资源，2021,37(4):61-66.
- [2]王疆涛，舒明辉，李秉强，等.瞬变电磁法在彬州市某煤矿采空区勘查中的应用[J].陕西地质，2020,38(1):91-98.
- [3]郭鹏文，陈兴峰.瞬变电磁法及大功率激电测深在矿山采空区调查中的应用研究[J].世界有色金属，2020(5):26-27.
- [4]贺静兵.水文地质勘探对煤矿防治水的重要性探析[J].矿业装备，2021 (6) : 142-143.