

用于地下裂隙系统探测的全极化孔中雷达干涉成像技术

刘澜波¹⁾, 赵建国²⁾

1) 美国康涅狄格大学土木与环境工程系; 2) 中国石油大学油气资源与探测国家重点实验室

地下岩层中裂隙系统是控制油气资源的运移与开发, 地下水资源的展布与开发, 地下水污染的迁移与修复, 地质体的稳定性与失稳滑动, 地震的孕育与发生等多种地质过程的关键因素之一。精确刻画地下岩层中的裂隙系统对上述多种地学课题至关重要, 但它也是地球物理观测研究多年来一直面临的挑战。

在现有的地球物理勘探技术中, 各种测井方法的探测深度很浅, 大约都在厘米至分米量级。例如, 声波测井技术可以精确显示裂隙与钻孔相交处的走向, 倾向, 倾角, 厚度等重要裂隙参数。但对几厘米以外的裂隙信息毫无感知。单孔中的钻孔雷达利用电磁波反射可以探测到距钻孔 10 米左右的裂隙。但是, 由于现有钻孔探测技术的限制, 单孔中的钻孔雷达的发射和接收天线的间距很小且不可改变。由这种设计实现的孔中雷达相当于地面的零偏移距地震反射法, 它对与钻孔近于正交的低倾角裂隙的探测能力大大降低。与此相映, 跨孔雷达(发射天线置于一个钻孔, 接收天线置于另一个钻孔)利用电磁波透射能够得到两孔之间很多的地层信息。可是, 透射电磁波的波长远远大于裂隙厚度, 它对裂隙的探测能力极为有限。

由此可见, 最为理想的裂隙探测技术应为单孔中的多偏移距钻孔雷达反射法。可惜的是现实中这种技术尚不存在。为此, Liu and He (2007)提出利用跨孔雷达电磁波透射数据采用干涉技术在接收天线钻孔中形成虚拟多偏移距雷达反射剖面用于裂隙系统的成像。本文在此基础上将跨孔雷达干涉技术进一步发展为多孔, 多极化透射雷达波干涉成像技术以用于大范围地层裂隙系统成像。

首先, 我们使用人工合成雷达数据验证这一技术的可行性。在此基础上, 再将多孔多极化透射雷达波干涉成像技术用于野外现场数据, 并与其它地球物理观测手段得到的裂隙成像进行比较以评价这一技术的有效性。

这一研究得到了中国自然科学基金会的资助

(NSFC41274138)。

地下岩层中裂隙系统是控制油气资源的运移与开发, 地下水资源的展布与开发, 地下水污染的迁移与修复, 地质体的稳定性与失稳滑动, 地震的孕育与发生等多种地质过程的关键因素之一。精确刻画地下岩层中的裂隙系统对上述多种地学课题至关重要, 但它也是地球物理观测研究多年来一直面临的挑战。

The fracture system in the subsurface formations is one of the most critical factors that control many science and engineering fields such as the migration and development of hydrocarbon resources, the distribution and development of groundwater resources, groundwater contamination and remediation, the stability and instable sliding of geological blocks, the seismogenesis of great earthquakes and so on. Detailed characterization of formation fracture systems concerns all aforementioned sub-disciplines of earth sciences and technologies. Unfortunately, it has been a long term challenge to geophysicists for many years.

The most promising fracture detection setup using radar technique should be single hole, multi-offset reflection mode. Nevertheless, there are a number of technical difficulties to physically realize multi-offset reflection in a single borehole. Liu and He (2007) proposed a wave interferometric virtual source (WIVS) approach to convert cross-hole transmission mode radar data to single hole, multi-offset reflection representation. A better detection of fractures has been demonstrated by using this approach.

In this paper we expanded the WIVS approach to consider multi-hole, multi-polarization borehole sources. A case study using synthetic data set with five boreholes and vertically and horizontally polarized radar wavefield is demonstrated in this paper.