

A New Method for Oil and Gas Exploration Based on Rotary Polarization

Zijing Chen¹, Qingli Chen², Bin Xiong¹, Jianzhang Tian³

¹College of Earth Sciences, Guilin University of Technology, Guilin Guangxi

²Key Laboratory of Exploration Technologies for Oil and Gas Resources, Ministry of Education (Yangtze University), Wuhan Hubei

³Institute of Geophysical Exploration, Huabei Oilfield Company, PetroChina, Renqiu Hebei
Email: 845237768@qq.com

Received: Mar. 23rd, 2018; accepted: Jul. 28th, 2018; published: Dec. 15th, 2018

Abstract

In order to explore the effective methods to find oil and gas reservoirs by using electromagnetic wave, according to the rotary polarization of petroleum and the skin effect of electromagnetic wave, the feasibility of direct oil searching by electromagnetic wave is analyzed and studied by contrast test. Oil has rotary polarization to the visible band of high frequency electromagnetic wave, but there is little research on whether the low frequency electromagnetic wave has optical rotation up to now. Therefore, the rotary polarization of low frequency electromagnetic waves in 0.5 - 12 Hz band is studied; the preliminary results show that petroleum has rotary polarization to the low frequency electromagnetic wave band of this band. On this basis, a new way to directly detect oil reservoirs by magnetotelluric sounding is proposed.

Keywords

Oil and Gas Exploration, Electromagnetic Wave, Oil Rotary Polarization

基于旋光性的油气勘探新方法

陈紫静¹, 陈清礼², 熊彬¹, 田建章³

¹桂林理工大学地球科学学院, 广西 桂林

²油气资源与勘探技术教育部重点实验室(长江大学), 湖北 武汉

³中石油华北油田分公司地球物理勘探研究院, 河北 任丘

作者简介: 陈紫静(1990-), 男, 硕士生, 主要从事地球物理方面的学习和研究工作。

Email: 845237768@qq.com

收稿日期: 2018年3月23日; 录用日期: 2018年7月28日; 发布日期: 2018年12月15日

摘要

为了探索利用电磁波寻找油气藏的有效方法, 依据石油的旋光性和电磁波的趋肤效应, 采用对比试验的方法, 分析研究了电磁波直接找油的可行性。石油对高频电磁波的可见光波段具有旋光性, 但对于低频电磁波是否具有旋光性至今鲜有研究。为此, 研究了0.5~12 Hz波段的低频电磁波的旋光性, 研究结果初步表明, 石油对该波段的低频电磁波段具有旋光性。在该基础上, 提出了一条利用大地电磁测深方法直接探测油气藏的新途径, 即旋光电场找油方法。

关键词

油气勘探, 电磁波, 旋光性

Copyright © 2018 by authors, Yangtze University and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

直接找油是地球物理学家们梦寐以求的技术[1] [2] [3], 为了直接找油, 石油地球物理学家开展了诸多探索, 提出了一些方法, 如激发极化法[4] [5]、复电阻率法[6]和时频电磁法[7] [8] [9] [10], 在多个油田进行了试验和实际应用, 效果争议很大。一个重要的原因是上述方法都不是真正意义上的直接找油方法, 因为其基础都是激发极化效应, 而该效应并不是油气藏的本质特征。石油的一个本质特征是旋光性, 也就是可见光经过石油后, 其偏振面发生变化。既然石油对可见光具有旋光性, 而可见光是一种高频电磁波, 石油对于低频段的电磁波是否也具有旋光性呢, 是否可以利用电磁波来直接探测油气藏。从国内外文献来看, 石油对低频电磁波的旋光性, 目前研究还处于空白领域。为此, 笔者在该领域进行首次探索, 采用大地电磁测深方法[11] [12]的观测装置, 在3个试验地点记录了时间序列的电磁场数据, 研究了磁场矢量的方位角随频率的变化, 其中1个试验点位于油气藏上方; 对比了有油与没油处角度随频率的变化特征; 分析了0.5~12 Hz波段的低频电磁波的旋光性。研究结果初步表明, 在低频电磁波段, 油气藏具有旋光性。在该基础上, 提出了一条利用大地电磁测深方法直接探测油气藏的新途径。

2. 旋光性

电磁波是由电场和磁场 2 种矢量场构成，并在空间中沿波矢方向传播。对于平面电磁波而言，在电磁波传播过程中，空间任意一个点上的电场矢量、磁场矢量和波三者相互垂直。而且，电磁场的极化模式由电磁波的辐射源决定，一般而言是椭圆极化。如图 1 所示，电磁波通过油气藏后，电场矢量的方向在水平面内(或者说以电磁波传播方向为旋转轴)旋转一定的角度，即为石油的旋光性。

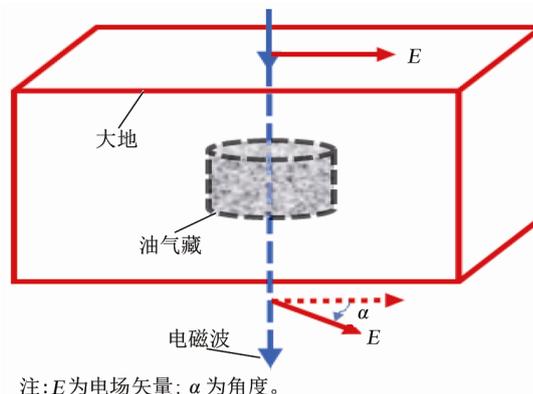


Figure 1. The sketch of rotary polarization
图 1. 旋光性示意图

光波是频率范围在 $3.9 \times 10^{14} \sim 7.5 \times 10^{14}$ Hz 之间的一种电磁波，其在真空中的波长约为 400~760 nm (可见光波长)之间，石油对该波段的电磁波的旋光性已被试验证实，不存在任何异议。但对于频率更低的电磁波，石油是否也具有旋光性，目前暂没有任何研究报道。如果石油对低频电磁波仍然具有旋光性，即可利用该特性来直接检测油气圈闭的含油性，既能降低油气勘探的风险，又能大大减少勘探成本。

衡量旋光性的参数是旋光度。旋光度为电场或磁场经过单位长度物质后旋转的角度。旋光度不仅与物质有关，而且与电磁波的频率有关。在光波段，石油的旋光度一般在 $0.1 \sim 1.2^\circ/\text{m}$ 之间。

3. 基本原理

利用大地电磁测深的观测装置，分别在有油气藏和没有油气藏的地面上，观测时间序列的电磁场；然后对其进行频谱傅里叶变换，得到频率域中的电磁场分量；再由南北和东西方向的电场分量计算出不同频率的电场矢量的方位角。观察电场强度方位角随频率的变化，若油气藏上方测点的电场强度方位角随频率的变化而变化，而无油气藏上方测点的电场强度方位角不随频率的变化而变化，则表明油气藏对低频电磁波具有旋光性。

由于油气藏位于地面以下某一深度范围，在地下深处，既无法观测电磁波，也无法发送电磁波，因此无法直接观测到旋转角。但是，电磁波具有趋肤效应，高频电磁波的穿透深度小而低频的穿透深度大。地面上观测的电磁波是入射波与反射波的叠加，不同频率的电磁波的穿透深度不同，没有穿过油气藏的高频电磁波与穿过油气藏的低频电磁波，其电场矢量的方向不一样，体现在频率域，就是不同频率的电磁波，电场强度的方位角有一定程度的差异。

4. 试验方案

4.1. 时间序列电磁场数据观测

选取几个观测点，采用加拿大凤凰地球物理公司的 V5-2000 系统观测时间序列的电磁场数据。采样

率为 24 Hz，观测时间大于 4 h。观测时，电极布设如图 2 所示，X 轴沿东西方向，Y 轴沿南北方向，获得南北方向时间域的电场分量 $E_y(t)$ 和东西方向时间域的电场分量 $E_x(t)$ (其中 t 为时间变量)。图 3 是一个观测点记录的部分电场数据。

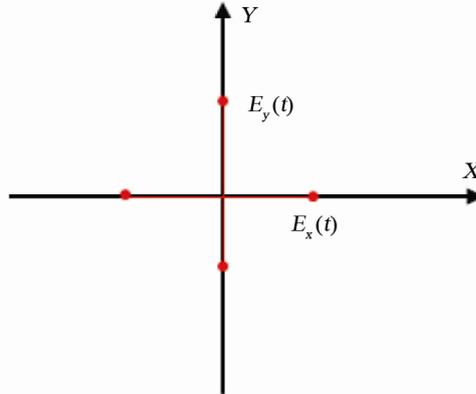


Figure 2. The sketch of detection point deployment
图 2. 测点部署示意图

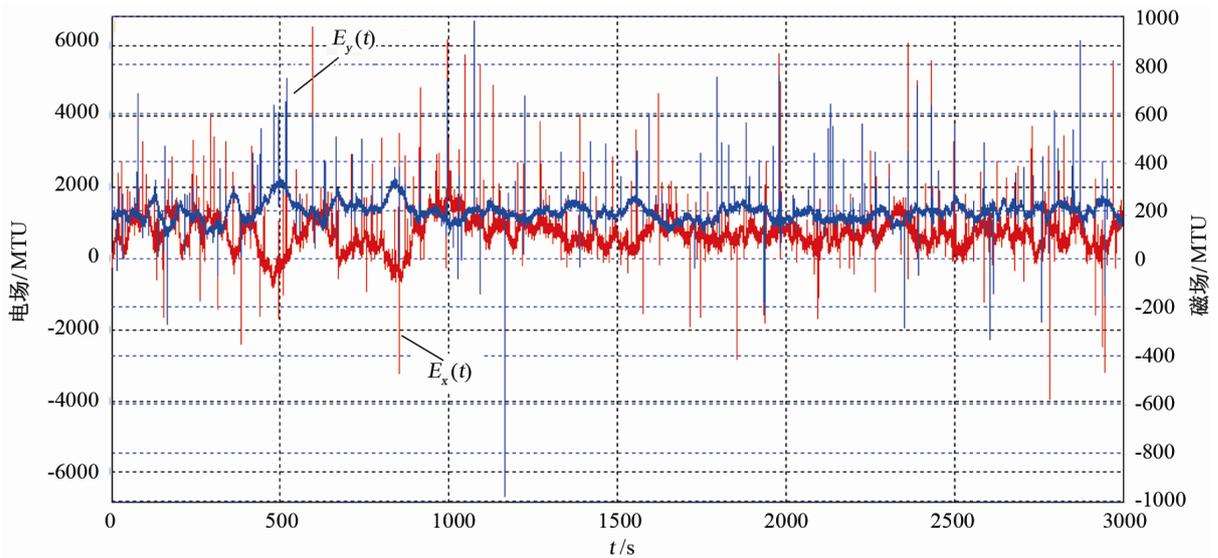


Figure 3. The electric field of time series
图 3. 时间序列的电场

4.2. 时频转换

采用快速傅里叶变换，将时间序列观测的电场分量 $E_x(t)$ 和 $E_y(t)$ 转化成频率域的电场分量 $E_x(f)$ 和 $E_y(f)$ (其中， f 为频率)。变换时， $E_x(f)$ 和 $E_y(f)$ 要采用相同的时间段，且采用分段转换方式，每段数据的点数 $N=4096$ ，采样频率 $F_s=24$ Hz。分段变换的目的是压制随机噪声，提高数据的可靠性，要将多段变换的结果进行叠加获得平均值。叠加之后的 $E_x(f)$ 也是一个数据序列，包含 4096 个复数，第 i 个数据 (i 从 1 开始) 对应的 $f=(i-1) \times F_s/N$ ；第 i 个复数数据的模值除以 $N/2$ (直流信号除以 N) 就是对应频率下的信号幅度。第 1 个数据点 $f=0$ ，表示直流信号，第 2 个数据点 $f=F_s/N=0.0059$ Hz，第 3 个数据点 $f=2F_s/N=0.0117$ Hz，第 $N/2$ 个数据点 $f=12$ Hz。因快速傅里叶变换的周期平移，其后数据不用。

4.3. 电场矢量方位角的计算

由频率域叠加后的电场分量 $E_x(f)$ 和 $E_y(f)$ 计算电场矢量方位角。频率域的电场分量 $E_x(f)$ 和 $E_y(f)$ 都是复数，用 $E_y(f)$ 的模值除以 $E_x(f)$ 的模值后再取反正切，获得用弧度表示的方位角，再转化成用度表示。计算公式为：

$$\alpha(f) = \frac{180}{\pi} \arctan \frac{E_x(f)}{E_y(f)}$$

式中： α 为电场强度矢量的方位角，(°)。

4.4. 方位角曲线绘制

以频率为横坐标，电场强度矢量方位角为纵坐标，绘制电场强度矢量方位角随频率而变化的曲线图，分析研究方位角随频率变化的特征。频率与深度之间存在一定的关系，高频电磁波的穿透深度小，低频的穿透深度大，因此，方位角随频率的变化间接反映了方位角随深度的变化。以同样的方法亦可获得磁场强度的方位角。

5. 结果分析

选取了 3 个观测地点，分别位于杭州西湖附近、河北南皮县、新疆某油田，观察了磁场强度并计算了磁场强度方位角，观察的日期不相同。由于电场易受工业用电的干扰，而磁场相对不受干扰，所以该次研究主要针对磁场。

3 个地方的磁场强度的方位角随频率的变化曲线分别如图 4~6 所示，频率范围为 0.5~12 Hz，0.5 Hz 在电阻率为 50 Ωm 的地区，其勘探深度可达 5 km。

由图 4 可见，除了在 8 Hz 附近以外，方位角基本在 40° 附近，不随频率的变化而变化。由图 5 可见，从 0.5~7 Hz，方位角大约为 52°，基本不随频率的变化而变化，从 9~12 Hz 也没有明显变化；8 Hz 附近的变化是由苏曼谐振[13][14]引起，在电离层和地球组成的谐振腔中，苏曼谐振的前 5 个频率是 7.8、14.1、20.3、26.3、32.5 Hz，正是由于 7.8 Hz 的苏曼谐振导致方位角在 7~9 Hz 之间剧烈变化。图 6 是在油气藏上方得到的结果，其方位角从 0.5 Hz 的 53° 逐渐降低到 7 Hz 的 40°，变化幅度达 13°，方位角变化比较明显，曲线不是水平而是向下倾斜的一条斜线。

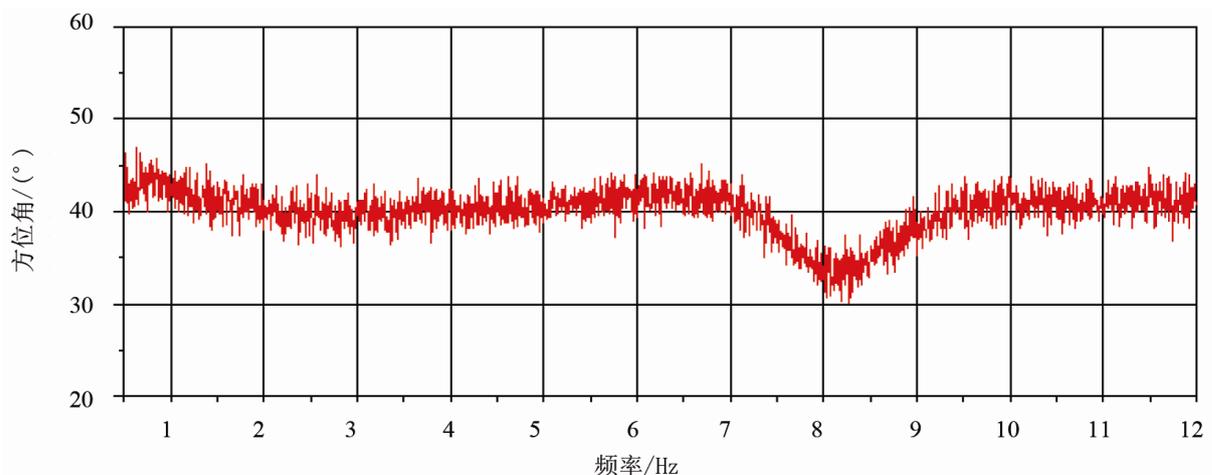


Figure 4. The curve of azimuth-frequency of magnetic field intensity of Xihu Lake in Hangzhou

图 4. 杭州西湖磁场强度方位角-频率曲线图

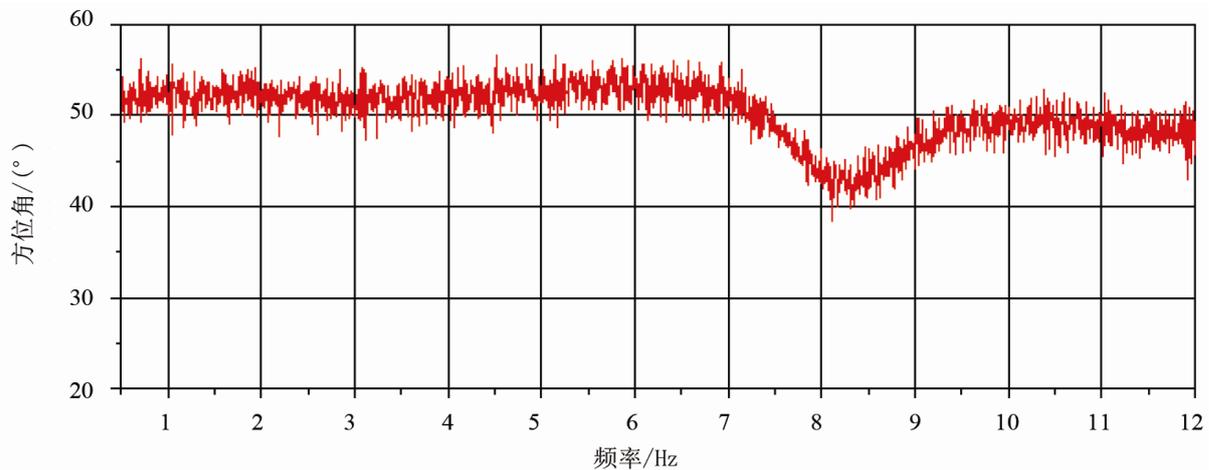


Figure 5. The curve of azimuth-frequency of magnetic field intensity of Nanpi County in Hebei Province

图 5. 河北南皮县磁场强度方位角-频率曲线图

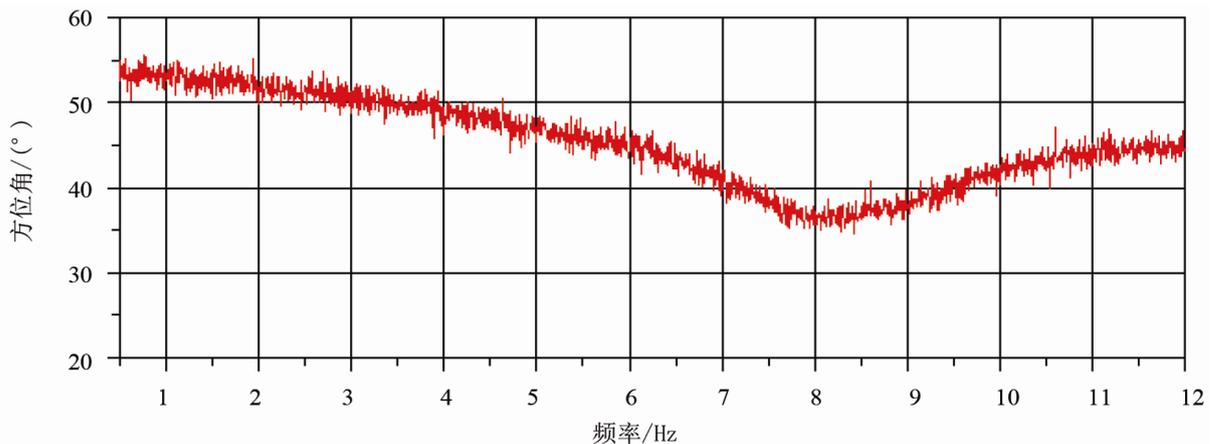


Figure 6. The curve of azimuth-frequency of magnetic field intensity of an oilfield in Xinjiang

图 6. 新疆某油田磁场强度方位角-频率曲线图

图 4~6 表明, 在没有油气藏的地方, 方位角基本不随频率的变化而变化, 呈现出水平线的特征, 而有油气藏的地方, 方位角随频率的变化而变化, 呈现出倾斜线的特征。初步证明了油气藏对低频电磁波具有旋光性。

目前该项研究只在 1 个油田进行了试验验证, 有待在更多的已知油田上开展研究。笔者提供了一种新的直接找油的思想, 利用旋光性直接检测油气的理论基础、基本原理和试验分析, 均证实该方法具有较好的可行性, 有望将大地电磁测深方法的应用效果提高到一个新的高度。

6. 结论

采用加拿大凤凰地球物理公司的 V5-2000 仪器观测系统, 按照大地电磁测深的测站布设方式, 观测了杭州西湖、河北南皮、新疆某油田 3 个不同地点的时间序列的电磁场数据, 利用快速傅里叶变换把时间域的电磁场变化到频率域的电磁场, 计算了磁场矢量方位角随频率的变化特性, 得出以下认识: ① 电场或磁场在水平面内的方位角, 在没有油气藏的地方, 不随电磁波频率的变化而变化, 而在有油气藏的地方却随频率的变化而变化; ② 在 0.5~12 Hz 的低频电磁波波段范围内, 油气藏具有旋光性; ③ 由于苏曼谐振的影响, 在 8 Hz 附近会导致旋光效应的畸变; ④ 基于低频电磁波的旋光性, 利用大地电磁测

深的观察装置,可望直接探测油气藏。

大地电磁测深方法经过 60 多年的发展,一方面其技术不断完善,应用领域不断扩大[15];另一方面生产实践的要求越来越高,技术的发展不能满足勘探实践的要求,亟需开发新的技术。笔者从石油的旋光性出发,通过对比试验初步证实油藏对低频电磁波具有旋光性,基于该特性提出了一种崭新的油气勘探新思想。

基金项目

国家自然科学基金项目(4157406); 中国石油天然气股份有限公司重大科技专项(2017E-015)。

参考文献

- [1] 李庆忠. 评艾菲微重力直接找油兼论 GONG 直接找油[J]. 石油地球物理勘探, 1997, 32(2): 277-302.
- [2] 吴广耀. 直接找油电法勘探方法的研究[J]. 地质科技情报, 1983(1): 67-76.
- [3] 陈东亮. 直接找油电法勘探方法探讨[J]. 石化技术, 2015, 32(8): 80.
- [4] 郑秀芬, 李金铭. 油气电法勘探综述[J]. 地球物理学进展, 1997, 12(2): 89-96.
- [5] 李金铭. 电法勘探方法发展概况[J]. 物探与化探, 1996, 20(4): 250-258.
- [6] 杨振威, 许江涛, 赵秋芳, 等. 复电阻率法(CR)发展现状与评述[J]. 地球物理学进展, 2015, 30(2): 899-904.
- [7] 李昭, 刘海军, 张生, 等. TFEM 油气检测技术及其在伊犁盆地的应用[J]. 石油地球物理勘探, 2017, 52(2): 398-401.
- [8] Dong, W.B., Zhao, X.M., Liu, F., et al. (2008) The Time-Frequency Electromagnetic Method and Its Application in Western China. *Applied Geophysics*, 5, 127-134. <https://doi.org/10.1007/s11770-008-0020-8>
- [9] 王志刚, 何展翔, 覃荆城, 等. 时频电磁技术的新进展及应用效果[J]. 石油地球物理勘探, 2016, 51(S1): 144-150.
- [10] 李燕丽, 金凤鸣, 魏强, 等. 时频电磁法在冀中拗陷潜山及潜山内幕油气预测中的应用[J]. 石油地球物理勘探, 2016, 51(S1): 137-143.
- [11] Tikhonov, A.N. (1950) Determination of the Electrical Characteristics of the Deep Strata of the Earth's Crust. *Doklady*, 73, 259-311.
- [12] Cagniard, L. (1953) Basic Theory of the Magnetotelluric Method of Geophysical Prospecting. *Geophysics*, 18, 605-635. <https://doi.org/10.1190/1.1437915>
- [13] Chand, R., Israil, M. and Rai, J. (2009) Schumann Resonance Frequency Variations Observed in Magnetotelluric Data Recorded from Garhwal Himalayan Region. *Geophysics*, 74, 3497-3507. <https://doi.org/10.5194/angeo-27-3497-2009>
- [14] Madden, T. and Thompson, W. (1965) Low Frequency Electromagnetic Oscillations of the Earth-Ionosphere Cavity. *Reviews of Geophysics*, 3, 211-254. <https://doi.org/10.1029/RG003i002p00211>
- [15] 陈小斌, 蔡军涛, 王立凤, 等. 大地电磁资料精细处理和二维反演解释技术研究(四)—阻抗张量分解的多测点多频点统计成像分析[J]. 地球物理学报, 2014, 57(6): 1946-1957.

[编辑] 龚丹

Hans 汉斯

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2471-7185, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: jogt@hanspub.org