

·非地震·

天然气水合物的磁电阻率响应特征

翁爱华* 刘云鹤 高丽娟 高玲玲 陈玉玲

(吉林大学应用地球物理系, 吉林长春 130026)

翁爱华, 刘云鹤, 高丽娟, 高玲玲, 陈玉玲. 天然气水合物的磁电阻率响应特征. 石油地球物理勘探, 2009, 44 (增刊 1): 158 ~ 161

摘要 文中将含天然气水合物的海底浅部层状沉积层的电性结构分为低阻海水、相对高阻的海洋沉积物、高阻天然气水合物和相对高阻的沉积物基底四层, 借助点源直流磁电阻率计算公式, 对海底天然气水合物沉积层模型进行了模拟。数值模拟结果表明: 天然气水合物沉积层可以引起较为明显的磁电阻率高阻异常; 天然气水合物沉积层的厚度、埋藏深度对磁电阻率异常观测结果影响不大; 装置相对海底高度的变化、装置间的相对位置变化对磁电阻率异常观测结果影响很大。因此利用磁电阻率法进行海底天然气勘探是可行的, 并且近海底装置是最优的观测装置。

关键词 磁电阻率法 天然气水合物 响应特征 深度 厚度 装置配置

1 引言

天然气水合物沉积层多呈薄互层产出, 虽然单层厚度可能小于 $10\text{m}^{[1]}$, 但水合物沉积层相对围岩电阻率非常高^[2,3], 这种特点为利用电磁法进行海底天然气调查提供了地球物理前提。目前主要采用地震勘探、测井等地球物理技术探测天然气水合物^[2,4~7], 与此同时, 电磁法在油气勘探以及水合物调查方面的应用也逐渐增多, 近来已由试验阶段发展为工业化生产阶段^[8,9]。尽管海水的存在可导致基于常规意义的瞬变电磁感应电压曲线形态发生变化, 并使接收线圈接收到的瞬变响应对海底电导率的分辨能力降低^[10], 但更多的数值模拟结果表明, 电磁方法能探测到海底电阻率异常体的存在^[11]。

直流电法的缺点是不能很好地对受高阻层屏蔽的下伏目标体进行探测, 但在天然气水合物探测中, 由于只需了解高阻天然气水合物的信息, 因此可以尝试利用直流电法探测天然气水合物。计算结果表明, 海底天然气水合物能引起较为稳定、可靠的直流电阻率异常, 因此采用直流方法进行水合物调查是一种有前景的方法。但在测量电场时, 所有电法方

法必然会在两个方向受到低阻海水的影响, 即传播到高阻水合物的一次电场和水合物沉积层扰动在观测点处产生的二次电场。因此如何避开或者利用低阻海洋环境对观测场的影响, 对提高海洋电磁技术的应用效果具有非常大的意义。

磁电阻率法是测量异常体扰动电流产生的磁场, 且该近直流磁场基本不受介质电阻率的影响^[12,13], 因此在低阻的海洋环境可以避开低阻海水对二次异常场的影响, 从而能获得更强的异常。本文基于层状介质磁电阻率响应模拟技术^[14], 对磁电阻率法的特点进行了分析, 展示了利用磁电阻率法进行天然气水合物勘探的良好前景。

2 层状介质直流磁场响应

水平层状磁电阻率理论模型如图 1 所示。强度为 I 的点电流源 A 在 P 点产生的磁场可以采用虚电流法计算^[12]。其基本原理是: 假设有一条从无穷远垂直到 A 点的虚线电流, 与 A 点发出的电流线相连通, 构成一个从无穷远来到无穷远去的大回路; 同时假设有一条从 A 点出发垂直到无穷远的虚线电流, 该虚线电流与前面附加的虚线电流方向相

* 吉林省长春市西民主大街吉林大学地探学院, 130026

本文于 2008 年 11 月 23 日收到, 修改稿于 2009 年 6 月 30 日收到。

本项研究得到国家 863 高新技术研究发展计划项目 (2006AA06Z109)、国家自然科学基金项目 (40874050) 资助。

反,电流强度大小相等,于是两条虚线电流在 P 点产生的磁场垂直分量正好相互抵消。因此, P 点的磁场没有垂直分量,只有水平分量。先求出大回路在 P 点产生的磁场,然后加上后附加的虚线电流产生的磁场,所得即为点电流源 A 在 P 点产生的磁场。由于模型的柱对称性,采用柱坐标系进行计算。经过推导,该磁场水平分量为^[14,15]

$$H = \frac{I}{2r_0} [A_i^+(z_i) e^{-(z-z_i)} - A_i^-(z_i) e^{-(z_{i+1}-z)}] \times J_1(r) dr = \frac{1}{4} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{r^2 + (z-z_s)^2}} \right] \quad (1)$$

其中: z_i 与 z_{i+1} 为第 i 层的顶、底面 z 坐标; J_1 为第一类 1 阶贝塞尔函数; $A_i^+(z)$ 与 $A_i^-(z)$ 为待定系数,可采用递推方法进行计算^[16,17]。

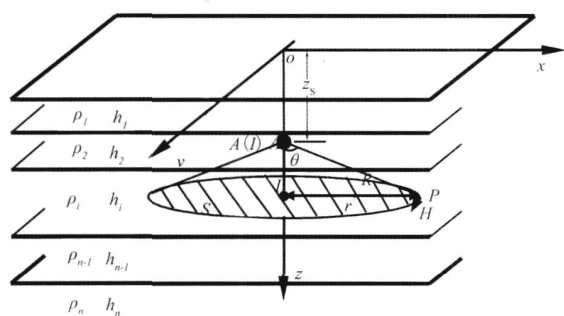


图 1 水平层状磁电阻率理论模型

坐标原点 o 位于地表, z 轴垂直向下,各层厚度和电阻率分别为 h_i 和 ρ_i 。位于 z 轴上强度为 I 的点电流源 A 距地表距离为 z_s ,位于第 i 层中的测点 P 距地表距离为 z ,点电流源 A 和测点 P 的水平距离为 r (极距)。为点电流源 A 与测点 P 连线与 z 轴夹角, S 为以 r 为半径绕 z 轴张成的圆平面

3 天然气水合物的磁电阻率响应特征

3.1 典型地电断面

根据已有资料,大致可将含天然气水合物的海底浅部层状沉积层的电性结构分为四层,即低阻海水、相对高阻的海洋沉积物、高阻天然气水合物和相对高阻的沉积物基底^[11](表 1)。海水和海洋沉积物的电阻率较为稳定,但天然气水合物的电阻率变化较大,一般大于 $100 \Omega \cdot m$ ^[6]。文中假设水合物埋藏于海底沉积物中,其厚度可变。

3.2 水合物埋深、厚度一定的磁电阻率响应

图 2 为表 1 模型中水合物埋深、厚度一定的磁电阻率响应曲线,由图中可见: 在小极距时,两条曲线完全重合,这是由于水合物对海水中的电流扰

表 1 天然气水合物地电断面模型

地层	厚度/m	电阻率/($\Omega \cdot m$)
海水	1500	0.3
海底沉积物	300~500	1~3
天然气水合物	10~100	100
水合物基底(沉积物)		1~3

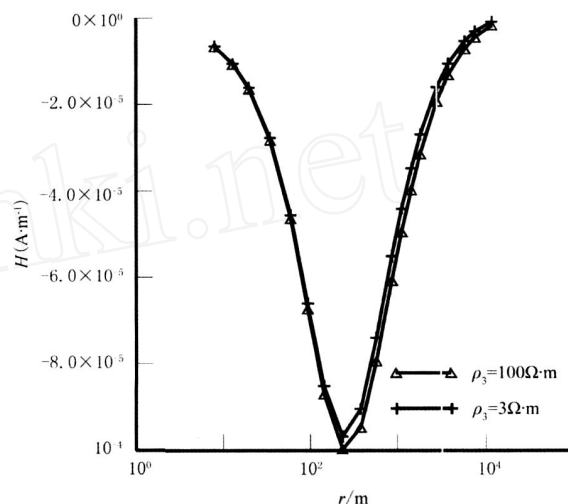


图 2 表 1 模型中水合物埋深、厚度一定时的磁电阻率响应曲线

厚度为 100m 的水合物埋于海底 300m 深处,水合物电阻率 ρ_3 分别取 100, 3 $\Omega \cdot m$ 。当不存在水合物时,水合物层用海底沉积物代替,其电阻率为沉积物的电阻率。点源与测点在海水中埋深为 1400m(距离海底 100m)处

动可以忽略,尽管水合物电阻率发生很大变化,磁电阻率响应基本不发生变化; 随着极距的增加,存在水合物的模型产生的磁场幅值明显变大。以上现象表明: 高阻水合物的存在,阻止海底沉积物中的电流向更深的大海流动,导致海水中的电流相对增加,磁电阻率响应值增大; 磁电阻率法对海底天然气水合物具有明显可探测的灵敏度; 大致在 $r=300m$ 处,水合物磁电阻率响应异常最大,该距离与水合物的海底埋藏深度相当。故相对常规电阻率方法,磁电阻率法的勘探深度较大。

3.3 水合物埋深不变、厚度变化的磁电阻率响应

图 3 为表 1 模型中水合物埋深不变、厚度变化的磁电阻率响应曲线,由图中可见: 在较大极距时,天然气水合物的厚度对磁电阻率响应有一定的影响,表现为厚度大,响应相对变大;随着观测距离的进一步增加,影响逐渐减弱。在总体上,天然气水合物的厚度对磁电阻率响应的影响相对较小,这是由于水合物可以近似为高阻绝缘板,只有其埋深

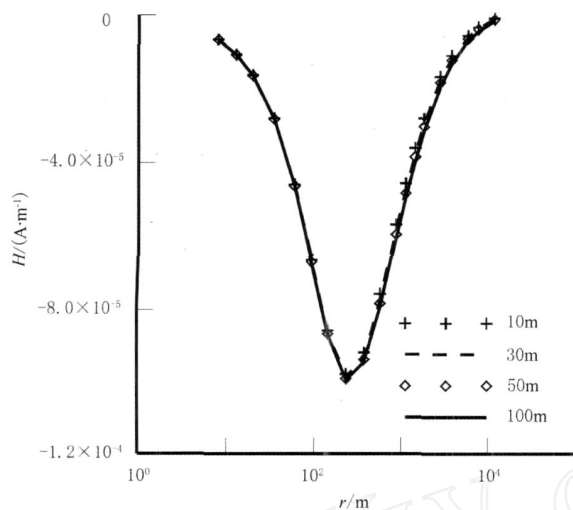


图3 表1模型中水合物埋深不变、厚度变化的磁电阻率响应曲线

点源和测点在同一水平面上,距海底10m

会影响点源电流的变化^[17]。

3.4 海水厚度变化对磁电阻率响应的影响

由于海洋磁电阻率法是在海水中供电与测量,因此海平面成为影响电流分布的一个因素。为此,在图2数据的基础上,分别计算了不同海水厚度情况下的磁电阻率响应(图4)。从计算结果看:当海水厚度小于300m时,海水厚度对磁电阻率响应存在明显的影响;当海水厚度大于300m后,海水厚度对磁电阻率响应影响明显减小。由于一般认为海洋水合物埋深在300m以下,因此可以认为在水合物存在条件下,海水厚度变化对磁电阻率测深曲线影响较弱。

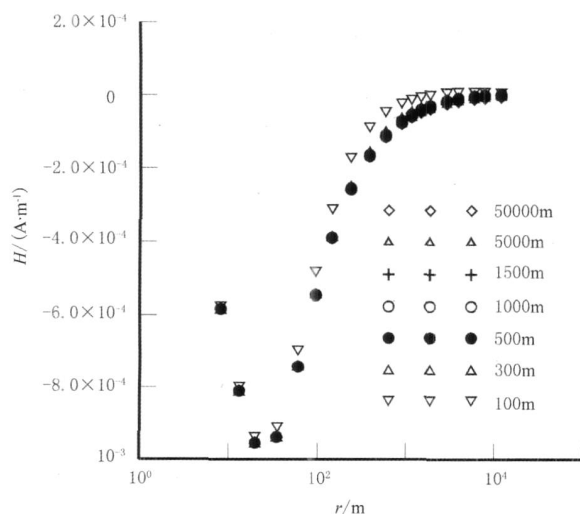


图4 不同海水厚度的磁电阻率响应曲线

点源和测点距离海底10m

3.5 装置深度变化对磁电阻率响应的影响

在图2数据基础上,图5给出了装置距离海底不同高度时的磁电阻率响应曲线,从图中可见,装置深度变化时对磁电阻率响应有很大影响,表现为距离海底越近,水合物的影响越大。因此为了获得较明显的磁电阻率异常,应该采用近海底观测装置。

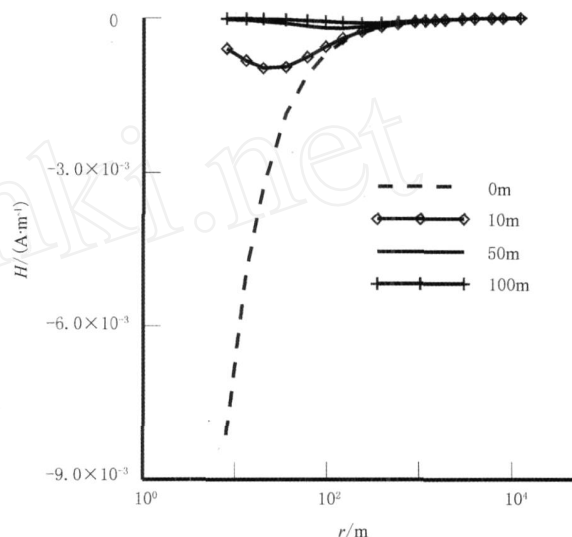


图5 装置距离海底不同高度时的磁电阻率响应曲线
水合物厚度为100m,点源和测点(在同一深度)距离海底不同高度

3.6 装置配置差异对磁电阻率响应的影响

图6为点源深度固定、测点深度不同时的磁电阻率响应曲线,从图中可见,由于装置的变形,测量的磁电阻率响应曲线差别很大。显然,装置间的配置关系对测量结果影响很大。因此在数据解释时,

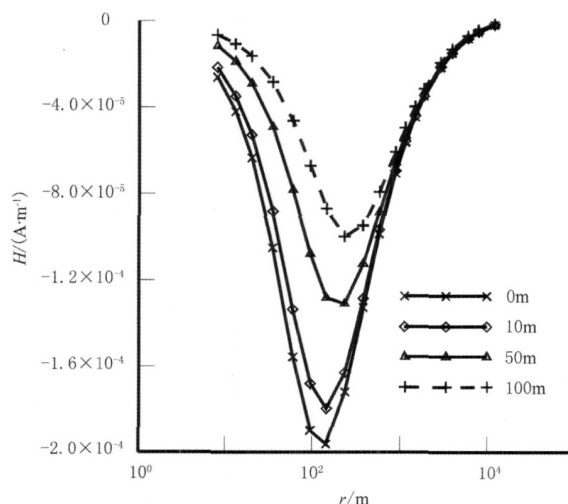


图6 点源深度固定、测点深度不同时的磁电阻率响应曲线

供电点距海底100m,测点在源点下方相对埋深不同

为了获得较为准确的地电断面,必须较为精确地确定电极系的具体几何参数。

4 结论

文中借助点源直流磁电阻率计算公式,对海底天然气水合物沉积层模型进行了模拟,获得以下认识:天然气水合物沉积层可以引起较为明显的磁电阻率高阻异常;天然气水合物沉积层的厚度、埋藏深度对磁电阻率异常观测结果影响不大;装置相对海底高度的变化、装置间的相对位置变化对磁电阻率异常观测结果影响很大。因此,利用磁电阻率法进行海底天然气勘探是可行的,并且近海底装置是最优的观测装置。

参考文献

- [1] 张胜业,杨梅霞,罗延钟. 天然气水合物的瞬变电磁响应研究. 石油地球物理勘探, 2004, 39(增刊): 62~65
- [2] 王祝文,李舟波,刘菁华. 天然气水合物评价的测井响应特征. 物探与化探, 2003, 27(1): 13~17
- [3] 许红,刘守全等. 国际天然气水合物调查研究现状及其主要技术构成. 海洋地质动态, 2000, 16(11): 1~4
- [4] 张明,伍忠良. 天然气水合物BSR的识别与地震勘探频率. 海洋学报(中文版), 2004, 26(4): 80~88
- [5] 唐勇,金翔龙,方银霞等. 冲绳海槽天然气水合物BSR的地震研究. 海洋学报(中文版), 2003, 25(4): 59~66
- [6] 王虑远,徐振中,陈世悦等. 天然气水合物的识别标志及研究进展. 海洋通报, 2006, 25(2): 55~63
- [7] 高兴军,于长河等. 地球物理测井在天然气水合物勘探中的应用. 地球科学进展, 2003, 18(2): 305~311
- [8] 何继善,鲍力知. 海洋电磁法研究的现状和进展. 地球物理学进展, 1999, 14(1): 7~39
- [9] 何展翔,余刚. 海洋电磁勘探技术及其新进展. 勘探地球物理进展, 2008, 31(1): 2~8
- [10] 刘长胜,林君. 海底表面磁源瞬变响应建模及海水影响分析. 地球物理学报, 2006, 49(6): 1891~1898
- [11] 郑仁淑. 海底油藏模型的瞬变电磁响应正演模拟研究. 石油天然气学报, 2005, 27(2): 190~193
- [12] 傅良魁. 磁电勘探法原理. 北京:地质出版社, 1984
- [13] Edwards R N. A downhole magnetometric resistivity technique for electrical sounding beneath a conductive surface layer. *Geophysics*, 1988, 53(4): 528~536
- [14] 刘云鹤. 异性点源层状介质直流磁场响应计算[硕士学位论文]. 吉林大学, 2008
- [15] Inayat-Hussein A A. Magnetic fields of direct currents in horizontally stratified conductors. *J Appl Phys*, 1989, 65(5): 3731~3732
- [16] Das U C, de Hoop A T. Efficient computation of apparent resistivity curves for depth profiling of a layered earth. *Geophysics*, 1995, 60(6): 1691~1697
- [17] 翁爱华. 层状介质电位法三维积分方程模拟及反演方法研究[博士后研究报告]. 浙江大学理学院, 2006

(本文编辑:刘勇)

欢迎订阅 2010 年《石油地球物理勘探》

《石油地球物理勘探》是一份创刊于 1966 年、伴随着我国石油工业的飞速发展而迅速成长起来的优秀科技期刊。她于 1992 年、1997 年蝉联全国优秀科技期刊一等奖, 1999 年荣获首届国家期刊奖, 2001 年进入中国期刊方阵, 获“双高期刊”荣誉; 2003 年、2005 年蝉联第二届和第三届国家期刊奖百种重点期刊; 2008 年被评为“中国精品科技期刊”。当前已是美国工程引文索引(ED)收录的源刊。

《石油地球物理勘探》主要报道内容有石油物探的新理论、新方法、新技术、新经验, 范围涉及地震资料采集、处理、综合解释、非地震勘探、物探仪器及装备的研制等, 为从事石油勘探及相关领域的广大科技和生产人员服务。该刊为双月刊, 外加一期增刊。每期定价 42.00 元, 全年订价 294.00 元。

凡订阅《石油地球物理勘探》杂志的单位和个人, 可以通过本刊的邮寄订单或登录本刊网站下载订单按要求完成订阅。

《石油地球物理勘探》编辑部

李来运 高级工程师,1962 年生;1984 年毕业于华东石油学院勘探系物探专业,获学士学位,2004 年毕业于中科院地质与地球物理研究所,获地球物理学博士学位。现在东方地球物理公司研究院从事海外地震资料处理工作。

刘勇 工程师,1981 年生;2003 年毕业于中国地质大学(北京)地质学专业;现在东方地球物理公司研究院乌鲁木齐分院从事地震资料解释及地震、地质综合研究工作。

刘瑞红 工程师,1969 年生;1990 年毕业于石油物探学校地震勘探技术专业,2004 年毕业于石油大学计算机科学与技术专业。现在中石化胜利油田物探研究院从事石油地质、物探综合研究工作。

张永华 教授级高级工程师,1965 年生;1988 年毕业于大庆石油学院石油物探专业,一直从事石油地震地质综合研究工作。

张宏 硕士研究生,1985 生;2007 年毕业于长江大学勘查技术与工程专业,获工学学士学位,现为长江大学地球物理与石油资源学院在读硕士研究生。2007 年至今,参与并完成多项石油地质综合研究科研项目。

刘立峰 博士研究生,1979 年生;2007 年获中国石油大学(北京)矿产普查与勘探专业硕士学位,现攻读中国石油大学(北京)地质资源与地质工程博士学位,主要研究方向为地震资料综合解释与储层建模。

刘洪林 教授,1958 生;1982 年毕业于华东石油学院物探专业,获学士学位,1988 年于大庆石油学院研究生毕业获硕士学位;主要从事地震资料数字处理及综合解释工作,发表论文多篇,现在大庆石油学院从事教学与科研工作。

黎书琴 1981 年生;2009 年毕业于西南石油大学地球探测与信息技术专业,获硕士学位,现在川庆钻探工程公司物探公司工作。

马中高 教授级高级工程师,1964 年生;1988 年毕业于成都理工学院应用地球物理专业,获硕士学位,2008 年获成都理工大学地球探测与信息技术专业博士学位。现在中国石化南京石油物探研究所从事岩石物理、流体预测方面的研究工作,发表论文多篇。

时晓章 工程师,1975 年生;2003 年毕业于石油大学(北京)矿物学、岩石学、矿床学专业,现为中国石油大学(北京)博士研究生;主要从事地震资料解释和地震—地质综合研究工作。

张秀丽 助理工程师,1979 年生;2007 年毕业于大庆石油学院地球探测与信息技术专业硕士学位,现在大庆油田有限责任公司勘探开发研究院从事开发地震与储层预测工作。

王海 1988 年毕业于石油物探职工大学;先后从事物探资料处理、解释工作,现任青海油田勘探开发研究院计算中心主任,负责物探资料处理方法研究及技术管理工作。

宋景明 高级工程师,1962 年生;1983 年毕业于成都地质学院金属物探专业,获工学学士学位。一直致力于综合物化探研究,从事陆地和海洋的油气综合勘探与研究。参与或主持了 50 余项科研和生产项目,发表论文约 10 篇。现在东方地球物理公司综合物化探事业部从事非地震勘探综合研究工作。

翁爱华 副教授,1969 生;2001 年获吉林大学应用地球物理专业博士学位,一直从事电磁法勘探及地面核磁共振的理论模拟与应用研究工作。

朱汉东 资深编辑,1966 年生;1988 年毕业于石油大学(华东)勘查地球物理专业,获工学学士学位;曾从事石油物探专题技术调研,在专业书刊发表论文及译作 20 篇。现在《石油地球物理勘探》编辑部从事编辑工作。

Key words: seismic exploration, near-surface structure, refraction static correction, tomography inversion static correction, Qaidam Basin

1. Research Institute of Exploration and Production, Qinghai Oilfield Limited, PetroChina, Dunhuang, Gansu Province, 736202, China

2. Zhongyou Jiya Company, Beijing, 100083, China

Recognition of fault systems in Bohai Bay Basin in China. Song Jing-ming¹, He Yi¹ and Chen Xiao-qing². OGP, 2009, 44(Supplement 1): 154 ~ 157

Based on gravity data in Bohai Bay Basin in China, its fault distribution characteristics were discussed in this paper. It is found out that 5 fault systems were developed in the basin, they are North-East trending fault system in the Northeast of the basin, Broom fault system in the middle of the basin, Tanlu Fault system, Beijing-Qingdao North-west trending fault system and Tangshan-Yantai North-west trending fault system, it is believed that the 5 fault systems play different roles in the basin's development.

Key words: Bohai Bay Basin, gravity exploration, Broom fault system, Tanlu Fault system

1. Integrated Geophysical and Geochemical Exploration Business Department, BGP Inc., CNPC, Zhuozhou, Hebei Province, 072751, China

2. Petroleum Society, BGP Inc., CNPC, Zhuozhou City, Hebei Province, 072751, China

Magnetoelectric resistivity response characteristics for natural gas hydrate. Weng Ai-hua¹, Liu Yun-he¹, Gao Li-juan¹, Gao Ling-ling¹ and Chen Yur-ling¹. OGP, 2009, 44(Supplement 1): 158 ~ 161

In this paper the electrical structures for the layered seabed sediments which contain natural gas hydrate were divided to 4 categories, they are low resistance sea water, fairly high resistance marine sediment, high resistance natural gas hydrate and fairly high resistance substrate. By making use of Point source direct electric current magnetoelectric resistivity, the sediment model of the natural gas hydrate was simulated, the numerical simulation results show the following: (1) natural gas hydrate deposition can cause obvious high magnetoelectric resistivity anomaly. (2) the thickness and buried depth of the natural gas hydrate deposition do not greatly affect observation results for the high magnetoelectric resistivity anomaly. (3) device elevation change to the seabed and the location change of the devices have a great affect for the anomaly. As a result applying magnetoelectric resistivity method to conduct seabed natural gas

exploration is feasible and the devices mounted close to the seabed are the best way to conduct the observation.

Key words: natural gas hydrate, response characteristics, depth, thickness, device configuration

1. Applied Geophysical Department, Jilin University, Changchun City, Jilin Province, 130026, China

Scientific journal quality evaluation criteria from the point of view of OGP quality self-checking. Zhu Han-dong¹, Ren Dun-zhan¹, Jin Wen-yu¹, Liu Ying¹ and Li Zao¹. OGP, 2009, 44(Supplement 1): 162 ~ 166

Nowadays there are about 5,100 scientific journals in China, however how to scientifically and objectively evaluate so many journals always still perplex different levels of journal management departments and the journal editorial departments. In 1992, journal authority department released the Quality Requirements for Scientific journals and evaluation criteria, then upon their own needs, different departments and industries built up different versions of scientific journal index database. Nowadays the famous index databases which affect China Scientific Academia most including Science Citation Index (US), Engineering Index (US), A Guide to the Core Chinese journal (China), Chinese Science and Technology Papers and Citation Databases (China) and Chinese Science Citation Database (China). Those databases provide a complete and objective data for evaluation of academic level and technical quality of Chinese scientific journals, they are the bases to analyze journals influence in their own fields. In addition editing standards should be paid enough attention as they are directly related to journal's editing quality. Journal's editing quality, and academic level and technical quality of the journals complement each other, so the quality self-checking in editorial departments is an important measure to assure the continuous improvement of the journals. In this paper some measures on how to improve the evaluation of the journal quality were suggested as well.

Key words: scientific journal, evaluation criteria, document retrieval, citation database, affecting factor, rate cited, number of citing magazine

1. Editorial Department for Oil Geophysical Prospecting, Society of Petroleum Geophysicists of China Petroleum Society, Zhuozhou City, Hebei Province, 072751, China