

# 中国海域天然气水合物勘探研究新进展\*

张 树 林  
(中海石油研究中心)

张树林. 中国海域天然气水合物勘探研究新进展. 天然气工业, 2008, 28(1): 15-18.

**摘 要** 天然气水合物是中国未来最具潜力的新型替代能源。中国的天然气水合物资源量巨大, 自中国开展天然气水合物勘探研究工作的 17 年来, 中国在海域天然气水合物勘探研究方面取得了 7 个方面的进展, 特别是 2007 年 5 月, 中国地质调查局在南海神狐海域钻获近海底天然气水合物沉积样品, 这是中国天然气水合物勘探上的一个重大突破。但是, 中国海域天然气水合物的勘探研究还存在 5 个方面的主要问题: 海域天然气水合物资源量预测过大; 对天然气水合物成藏动力学、成藏体系研究不够, 尤其是对烃源研究不够; 中国在天然气水合物沉积层岩石物理方面的研究几乎还是空白; 对地震剖面上的 BSR、振幅空白带与天然气水合物沉积层的关系仍然不是十分清楚; 中国目前的天然气水合物勘探技术研究还不够深入、不够系统。指出了中国天然气水合物勘探的光明前景。

**主题词** 海洋勘探 资源 天然气水合物 战略 研究

中国目前能源短缺的形势较严重, 必须尽快找到新型的替代能源。天然气水合物由于分布浅、分布广泛、总量巨大、能量密度高, 而成为未来主要的替代能源, 受到世界各国政府和科学界的密切关注。中国水合物资源量巨大(表 1)<sup>[28]</sup>, 是中国 21 世纪最具商业开发前景的战略资源。

## 一、中国海域天然气水合物勘探研究新进展

### 1. 中国开展天然气水合物勘探研究的历程

中国开展水合物勘探研究只有 17 年的时间。在中国天然气水合物勘探研究的历程中, 下列事件

表 1 中国天然气水合物资源量预测表

作者	年 份	地 区	资 源 量 (m <sup>3</sup> )	备 注
陈多福	2005	青藏高原	1.2@10 <sup>11</sup> ~2.4@10 <sup>14</sup>	假定 10% 的冻土带发育水合物
陈多福	2005	藏北羌塘高原	3.4@10 <sup>10</sup> ~6.9@10 <sup>13</sup>	假定 10% 的冻土带发育水合物
曾维平	2003	南海南部	6.1@10 <sup>12</sup> ~10.2@10 <sup>12</sup>	
王淑红	2005	南海南部	4.8@10 <sup>15</sup>	
陈多福	2004	琼东南盆地	1.6@10 <sup>12</sup>	
张树林	2007	白云凹陷及周边	8.7@10 <sup>12</sup>	
姚伯初	2001	整个南海	4.3@10 <sup>13</sup>	
梁金强	2006	整个南海	6.5@10 <sup>13</sup>	
葛 倩	2006	整个南海	6.0@10 <sup>12</sup>	
方银霞	2001	东海冲绳海槽	2.4@10 <sup>13</sup>	

\* 本文受到中国科学院知识创新工程重要方向项目(编号: KZCX2YW2108 和 KZCX32SW2224)和国家自然科学基金项目(编号: 40572071)的资助。本文是作者在/中国油气论坛 2007)油气勘探新领域与新技术专题研讨会(由世界石油大会中国国家委员会和中国科学技术部社会发展司联合举办)上的发言。

**作者简介:** 张树林, 1965 年生, 中科院构造地质专业博士, 高级工程师, 中科院硕士研究生导师; 客座研究员, 发表论文 60 余篇, 参与撰写专著 3 套(部); 长期从事油气地质和地球物理研究与生产工作。地址: (100027)北京市东直门外小街 6 号海油大厦 703 室。电话: (010)84523622。E2mail: zhangshl3@cnooc.com.cn, zhangshulin6202@163.com

具有代表性。

(1)1990 年,中国科学院开展了合成甲烷水合物实验,取得成功。

(2)1997 年,中国地质科学院吴必豪等人完成了 / 西太平洋气体水合物找矿前景与方法的调研0 课题,认为我国东海和南海,具备天然气水合物的成藏条件和找矿前景。

(3)1998 年,中国与美国国家科学基金会签署谅解备忘录,正式以六分之一成员国身份加入大洋钻探计划。

(4)1999 年春,以中国科学家为主的 ODP184 航次在南海实施钻探,岩心分析显示有天然气水合物存在的氯异常。1999 年 10 月,广州海洋地质调查局首次在南海开展天然气水合物前期调查,在 3 条共 130 km 的地震剖面上识别出 BSR。之后,又在南海西沙海槽识别出 5242 km<sup>2</sup> 的 BSR 分布区。

(5)2001 年,中国科学院组织召开了天然气水合物专题香山科学会议。

(6)2004 年,广州海洋地质调查局与德国联合实施的 / 太阳号0 航次,在南海北部发现水合物分解形成的巨型碳酸盐岩丘,获得碳酸盐结壳样品。

(7)2007 年 5 月,中国地质调查局在南海神狐海域 3 个站位钻获天然气水合物实物样品。

2. 中国海域天然气水合物勘探研究新进展

17 年来,中国在天然气水合物勘探研究方面取得了一定的进展。

(1)首次成功钻获天然气水合物实物样品

2007 年 5 月,中国地质调查局在南海北部神狐海域首次成功钻获天然气水合物实物样品,这标志着中国成为继美国、日本、印度之后的第 4 个系统开展天然气水合物资源调查并获取实物样品的国家。

在南海神狐海域约 1200 m 水深的 3 个钻位 (SH21、SH24 和 SH27) 钻到了天然气水合物样品,水合物发育于海底之下 200 m 左右的泥质沉积层中,呈浸染状产出。SH21 站位水深 1245 m,水合物分布在海底以下 183~ 201 m,水合物沉积层厚 18 m,饱和度最高 20%。SH24 站位水深 1230 m,水合物分布在海底以下 191~ 225 m,水合物沉积层厚 34 m,饱和度最高 43%。钻获的水合物都不含 CO<sub>2</sub>,气体中甲烷的含量高达 99.7%。夹杂着白色颗粒状 / 可燃冰0 的海底沉积物放入水中随即冒出大量气泡 (图 1)。天然气水合物样品挥发出的气体可燃烧。

这是中国水合物勘探史上一次重要的事件,标志着中国水合物勘探上的突破,具有2个方面的重

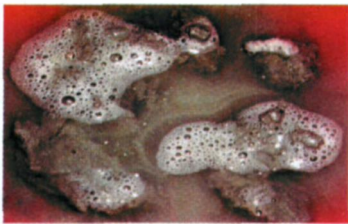


图 1 钻获的天然气水合物样品图(据周文杰, 2007)

要科学意义: <sup>1</sup> 证实了南海北部深水海域天然气水合物的存在; <sup>o</sup> 首次获得水合物的地球物理测井、原位温度测量、沉积物岩心及孔隙水、微生物等样品和现场物性、地化测试资料,为南海北部陆坡天然气水合物资源远景评价及成藏机理和分布规律研究提供了可靠的科学依据。

(2)在南海发现了冷泉碳酸盐岩,并发现了冷泉碳酸盐岩中的石化微生物

2002 年 5 月,美国利用载人深潜器在墨西哥湾 GC238 区海底天然气渗漏系统发育的海底采集到冷泉碳酸盐岩 (图 2)。中国于 2002 年首次在南海发现冷泉碳酸盐岩 (图 2),并发现了冷泉碳酸盐岩中的石化微生物。在南海发现的冷泉碳酸盐岩地化指标与墨西哥湾冷泉碳酸盐岩地化特征相同。

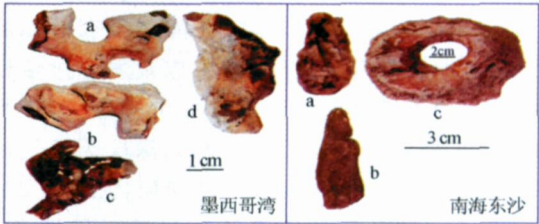


图 2 南海东沙冷泉碳酸盐岩样品与墨西哥湾冷泉碳酸盐岩样品对比图

2004 年,中国地质调查局与德国基尔大学合作,在中国南海发现世界上规模最大的天然气水合物碳酸盐岩区,并采集到了南海海底浅表层天然气水合物样品。碳酸盐岩区分布面积为 430 km<sup>2</sup>,至今仍在释放甲烷气体。这一发现是南中国海存在天然气水合物的重要证据。

(3)人工合成天然气水合物样品获得成功

1778 年和 1811 年,英国化学家首次在实验室中合成了含二氧化硫和含氯气的天然气水合物样品。1990 年,中国科学院冻土工程实验室与莫斯科大学合作开展合成甲烷水合物实验,取得成功。合成实验材料为甲烷气体、蒸馏水。合成水合物具有与国外现场勘探所得水合物样品相同的外观和可燃性

(图 3)。合成的天然气水合物为人们了解水合物的物理化学性质提供了样品。



图 3 合成的天然气水合物样品图

(4)对水合物进行了成因分类

Milkov 和 Sassen(2002)按地质产状把海洋水合物分成地层控制型、构造控制型和过渡型。陈多福等(2006)按水合物成因把海洋水合物分成渗漏型和扩散型两种类型,确定了渗漏型与扩散型水合物的产出特征和形成机理的差异,并建立了二类水合物划分的定量模型(溶解度模型)<sup>[9]</sup>。

(5)对底辟构造、海底麻坑与水合物的关系进行了初步研究,并首次对南海海域构造控制型水合物矿床进行了分类

南海北部珠江口盆地白云凹陷位于被动大陆边缘的陆壳)过度壳之上,具有右旋张扭性构造背景,由于快速沉降和充填,发育陆相、海相 2 套巨厚的泥源层,加之地幔隆升、岩石圈拉张以及发生过多次的热活动,使得该凹陷广泛发育底辟构造,为天然气运移提供了极好的条件。白云凹陷深层天然气运移到近海底有 2 类运移通道,一是断层,二是底辟(张树林,2007)。白云凹陷水合物的烃源运移模式有 3 种<sup>[10]</sup>:沟通气源断层运移、底辟运移、底辟和断层共同运移(图 4)。白云凹陷大量晚期发育的底辟构造和海底麻坑预示白云凹陷发育有渗漏型水合物<sup>[10]</sup>。

东海冲绳海槽由于有很高的沉积速率,加上槽坡的断层活动,在冰期期间,长江携带大量的陆源物质直接输送到大陆坡地区,沉积速率达 300 m/Ma,产生异常高压。同时张性断层极为发育,为流体的迁移提供了良好的通道,在异常压力以及上覆地层

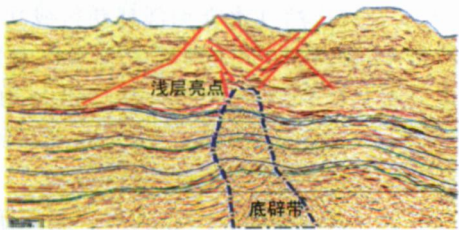


图 4 白云凹陷底辟和断层共同运移模式图(张树林,2007)

压力作用下大量流体向上运移。从而发育大量的泥底辟构造<sup>[11]</sup>。富含甲烷的流体易在其外围及外围海底沉积物中形成天然气水合物藏。在地震剖面上发现 BSR(图 5)<sup>[11]</sup>。

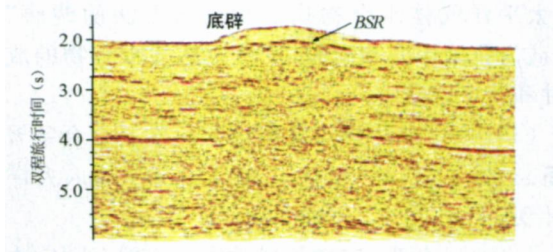


图 5 东海冲绳海槽南部地震剖面图(吴时国等,2006)

(6)海洋水合物地震勘探技术研究取得了一定进展

世界范围内,水合物勘探技术进展主要表现在:形成了以地震勘探为主,重力、磁力勘探为辅的综合物探方法;由常规单道、多道地震发展到多频地震、高分辨率地震和多波地震;由常规地震数据处理发展到以突出 BSR 特征的/三高0和叠前时间、深度偏移处理;由地震波速度、振幅结构研究识别天然气水合物发展到利用多属性判别、多弹性参数和多物性参数反演来识别水合物。

中国在海洋水合物地震勘探技术研究方面主要取得了以下进展。<sup>1</sup> 初步探索了以识别水合物为目的的地震数据/三高0处理技术<sup>[1214]</sup>。<sup>o</sup> 开展了天然气水合物正演模拟研究,该研究主要包括 2 个方面:一是开展水合物地震空白带现象正演模型研究<sup>[15]</sup>,认为水合物沉积物饱和度的变化是振幅空白的主要原因;二是开展了 AVO 正演模拟研究<sup>[1618]</sup>,认为我国海域某地区的 BSR 具有明显的 AVO 效应,AVO 曲线形态、BSR 现象与游离气三者之间存在复杂的关系,需要通过多种信息的综合分析来解释。<sup>»</sup> 开展了水合物沉积层综合识别方法研究。<sup>¼</sup> 对包括全波形反演、弹性波反演在内的地震反演技术在识别水合物中的应用可行性进行了分析研究<sup>[1921]</sup>。<sup>½</sup> 对多波地震(也称为多波多分量地震或四分量地震)在南海、东海水合物勘探中的应用可行性进行了研究<sup>[21]</sup>。

世界上已有利用多波地震来勘探水合物的实例。1998 年,利用多波地震成功地预测了加拿大西北地区的 Mackenzie 三角洲东端冻土中的天然气水合物。2002 年,利用多波地震技术勘探了卡斯卡



迪亚古陆(Cascadia)的水合物,并联合利用 P 波和 S 波速度较好地确定了含天然气水合物带并量化水和物饱和度。

多波地震也可能是中国海域水合物勘探有用的技术,值得关注。南海北部海域实钻水合物沉积层厚度为 18~ 34 m。这种厚度的水合物沉积层勘探要求地震资料有较高的分辨率。南海莺歌海盆地的多波地震实践有力地说明转换横波的浅层分辨率比纵波高(图 6)<sup>[22]</sup>。从中国南海神狐海域已发现的水合物沉积层的测井数据看(图 7),天然气水合物沉积层与围岩层的电测特征不一样,说明南海海域天然气水合物沉积层、下伏游离气层及围岩的弹性参数、纵横波速度比、泊松比是不一样的,因此,利用多波地震可以降低水合物沉积层和之下游离气藏勘探的多解性。由于利用多波地震资料可以很好地研究纵波地震剖面的反射模糊带成因<sup>[23]</sup>。因此,联合利用纵横波地震资料可以更好地勘探渗漏型水合物。利用多波地震数据可以开展多参数的全波形反演或弹性波反演<sup>[24]</sup>,进而可得到水合物沉积层及围岩的纵横波速度、岩石密度、弹性模量、速度比和泊松比等。

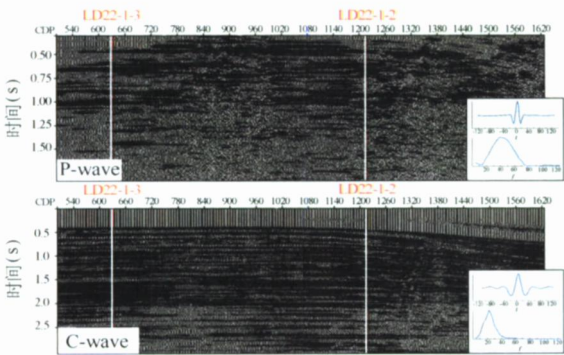


图 6 莺歌海盆地纵波地震剖面(上)和转换横波地震剖面(下)

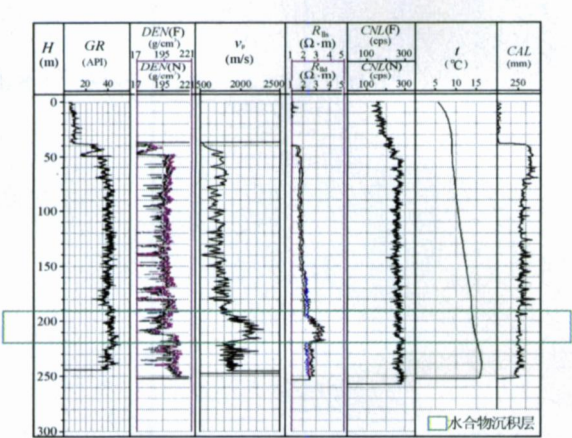


图 7 中国南海神狐海域天然气水合物沉积层及围岩电测曲线图

(7)初步预测或证实了我国南海西沙海槽、东沙陆坡、台湾西南陆坡、南沙海槽、冲绳海槽可能存在天然气水合物

广州海洋地质调查局在南海西沙海槽区识别出了 5242 km<sup>2</sup> 的 BSR 分布区。白云凹陷是珠江口盆地中面积最大的一个深水凹陷,位于珠江口盆地西南部陆架) 陆坡过度带及上陆坡区。该凹陷具备良好的水合物成藏条件,是水合物勘探的有利位置<sup>[10]</sup>。预测白云凹陷及周边水合物资源量为 8.7 @10<sup>12</sup> m<sup>3</sup> (张树林, 2007)。预测整个南中国海水合物资源量为 n@10<sup>13</sup> m<sup>3</sup> (姚伯初, 2001; 梁金强, 2006)。预测东海冲绳海槽水合物资源量为 2.4 @10<sup>13</sup> m<sup>3</sup> (方银霞, 2001)。笔者认为,包括永冻地区在内的整个中国天然气水合物资源量预测为(1.0~ 4.0) @10<sup>14</sup> m<sup>3</sup>。

## 二、中国天然气水合物勘探研究存在的问题

### 1. 预测资源量偏大

主要问题在于众多学者在预测天然气水合物资源量时选取的水合物沉积层厚度普遍偏大,有的学者选取的饱和度偏大,天然气水合物矿藏分布面积几乎都是人为估计的。

### 2. 对天然气水合物成藏动力学、成藏体系研究不够,尤其是对烃源研究不够

天然气水合物烃源主要为: 沉积物中的有机质在细菌的降解作用下产生甲烷气体; 深部有机物在热电解作用下产生的向上发散的气体。/ 物质决定一切0,水合物成藏也遵循这一哲学原理。/ 源控论0是油气成藏的主要理论,同样,也是水合物成藏的关键因素。没有烃源,或烃源潜力不够的话,水合物勘探无从谈起<sup>[10]</sup>。

### 3. 在天然气水合物沉积层岩石物理方面的研究几乎还是空白

岩石物理研究不仅是油气勘探的基础,也是水合物勘探的基础。要想办法开展天然气水合物岩石物理、地震岩石物理研究。

### 4. 对地震剖面上的 BSR、振幅空白带与天然气水合物沉积层的关系仍然不是十分清楚

布莱克海台、墨西哥湾的天然气水合物并没有 BSR 等现象。有 BSR 的地方也不一定有水合物沉积,它们之间的关系是复杂的。BSR 与亮点技术一样,也有多解性。

### 5. 天然气水合物勘探技术研究还不够深入、不够系统

天然气水合物勘探的主要技术仍然是地震勘探

技术, 要加强以近海底水合物沉积层为目标的地震勘探技术和方法研究。要形成力量强大的研究团队, 不能各自为战。

### 三、结 论

中国的天然气水合物勘探虽然起步比较晚, 但在中国政府的大力支持下, 在中国科学院、高等院校及石油公司的有关专家的积极参与下, 已经取得了一定的成绩。尤其是 2007 年, 取得了突破性进展。但中国的天然气水合物勘探研究还存在很多的不足, 与国外的差距还比较大。未来的路还很长, 但前途是光明的, 中国的天然气水合物勘探必将取得重大突破。

### 参 考 文 献

[ 1 ] 陈多福, 王茂春, 夏斌. 青藏高原冻土带天然气水合物的形成条件与分布预测[ J ]. 地球物理学报, 2005, 48( 1 ): 162172.

[ 2 ] 曾维平, 周蒂. GIS 辅助估算南海南部天然气资源量[ J ]. 热带海洋学报, 2003, 22( 6 ): 35245.

[ 3 ] 王淑红, 宋海斌, 颜文, 等. 南海南部天然气水合物稳定带厚度及资源量估算[ J ]. 天然气工业, 2005, 25( 8 ): 24230.

[ 4 ] 陈多福, 夏斌. 南海琼东南盆地天然气水合物稳定域分布特征及资源预测[ J ]. 地区物理学报, 2004, 47( 3 ): 482487.

[ 5 ] 姚伯初. 南海的天然气水合物矿藏[ J ]. 热带海洋学报, 2001, 20( 2 ): 20228.

[ 6 ] 梁金强, 吴能友, 杨木壮, 等. 天然气水合物资源量估算方法及应用[ J ]. 地质通报, 2006, 25( 9 ): 120521210.

[ 7 ] 葛倩, 王家生, 向华, 等. 南海天然气水合物稳定带厚度及资源量估算[ J ]. 地球科学, 2006, 31( 2 ): 242250.

[ 8 ] 方银霞, 申屠海港, 金翔龙, 冲绳海槽天然气水合物稳定带厚度的计算[ J ]. 矿床地质, 2002, 21( 4 ): 414418.

[ 9 ] 陈多福, 苏正. 海洋天然气水合物的类型及特征[ J ]. 大地构造与成藏学, 2006, 30( 2 ): 252260.

[ 10 ] 张树林, 陈多福, 黄君权. 白云凹陷天然气水合物成藏条件[ J ]. 天然气工业, 2007, 27( 9 ): 8212.

[ 11 ] 吴时国, 喻普之. 海底构造学导论[ M ]. 北京: 科学出版社, 2006.

[ 12 ] 刘怀山, 周正云. 用于研究东海天然气水合物的地震资料处理方法[ J ]. 青岛海洋大学学报, 2002, 32( 3 ): 4412445.

[ 13 ] 王舒畋, 王影, 龚定康, 等. 地震资料再处理技术在东海天然气水合物地质研究中的应用[ J ]. 海洋石油, 2006, 24( 4 ): 23227.

[ 14 ] 徐华宁, 梁蓓雯, 吴能友. 南海东沙海域天然气水合物地震数据多次压制及速度特征[ J ]. 地质通报, 2006, 25( 9 ): 3234.

[ 15 ] 孙春岩, 章明显, 牛滨华, 等. 天然气水合物地震空白带现象正演模型研究[ J ]. 地学前缘, 2003, 10( 1 ): 2427.

[ 16 ] 胡中平, 孙建国, 赵群. 利用地震方法识别天然气水合物[ J ]. 勘探地球物理进展, 2002, 25( 6 ): 1223.

[ 17 ] 孙春岩, 章明显, 牛滨华, 等. 天然气水合物地震似海底反射现象 AVO 正演模型研究[ J ]. 现代地质, 2003, 17( 3 ): 2112215.

[ 18 ] 阮爱国, 李家彪, 初凤友. 海底天然气水合物层界面反射 AVO 数值模拟[ J ]. 地球物理学报, 2006, 49( 6 ): 18271830.

[ 19 ] 马在田, 耿建华, 董良国, 等. 海洋天然气水合物的地震识别方法研究[ J ]. 海洋地质与第四纪地质, 2002, 22( 1 ): 127.

[ 20 ] 宋海斌. 天然气水合物似海底反射层的全波形反演[ J ]. 地球物理学报, 2003, 46( 1 ): 42246.

[ 21 ] 张树林. 天然气水合物地震勘探关键技术研究[ J ]. 天然气工业, 2007( 增刊 A ): 3652370.

[ 22 ] 张树林. 中国近海四分量地震资料解释及应用[ J ]. 海洋地质与第四纪地质, 2001, 21( 4 ): 112123.

[ 23 ] 张树林. 莺歌海盆地天然气藏的四分量地震勘探[ J ]. 勘探地球物理进展, 2002, 25( 5 ): 41246.

[ 24 ] 张树林, 张志斌. 基于纵波地震和四分量地震的弹性波阻抗反演[ J ]. 海洋地质与第四纪地质, 2007, 27( 5 ): 51257.

( 收稿日期 20071215 编辑 罗冬梅 )

renewable energy sources like geothermal power and solar energy. PetroChina has carried out active studies and development projects on many new energy sources including CBM, fuel ethanol, geothermal power, oil sand, oil shale, and so on, which has paved a way for further recovery and development of more new energy sources in near future. Through analysis this paper pointed out that there would be a long way for new energy sources to be used in place of the conventional energy, and suggested that new theories should be founded to discover more new energy sources, and advanced techniques should be applied to achieve in new breakthroughs.

SUBJECT HEADINGS: new energy sources, coalbed methane, oilbearing sand, oil shale, geothermal power, fuel ethanol  
LI Jingming ( professor of senior engineer), born in 1956, graduated in petroleum geology from the former Chengdu Geological Institute in 1978. He has long been engaged in overall studies of natural gas geology and development strategy. He is studying for a Ph. D degree at Guangzhou Geochemical Research Institute of Chinese Academy of Sciences.

Add: Langfang Branch of PetroChina Exploration & Development Research Institute, Mail Box 44, Lanfang City, Hebei Prov  
ince 065007, P. R. China

Tel: + 861026921 3418 E2mail: lijim@petrochina.com.cn

## NEW RESEARCH ADVANCEMENT ON OFFSHORE EXPLORATION FOR NATURAL GAS HYDRATES IN CHINA

ZHANG Shulin ( CNOOC Research Center). NAT. GAS IND. v. 28, no. 1, pp. 1542158, 1/25/2008. ( ISSN 100020976; In Chinese)

ABSTRACT: China has to face up with the increasingly serious energy crisis and natural gas hydrate will be hopefully the most potential alternative energy source in near future. Since there is rich natural gas hydrate resource in China, seven aspects of achievements have been obtained after 17 years of researches and development on this new energy, especially in May of 2007, the sedimentary samples of natural gas hydrate was acquired at the bottom of Shenhu sea area in South China Sea by Chinese Geological Bureau, which was an important breakthrough in exploration history of natural gas hydrate. However, in this field of study in China there still exists five points of issues as follows: ( 1) the forecast of natural gas hydrate resource at the sea is exaggerated; (2) studies on hydrate reservoiring dynamics, reservoiring system, and especially the hydrocarbon source are not enough as well; (3) research on physical stratigraphy of hydrate sedimentary reservoir rocks is still blank; (4) the relationships among the BSR in the seismic profile, blind zone of amplitude, and sedimentary reservoir are still unknown; (5) the exploration technical studies are not complete and systematic yet. In the end, this paper pointed out bright future for China to keep on its further exploration and development of natural gas hydrate.

SUBJECT HEADINGS: offshore exploration, resource, natural gas hydrate, strategy, research

ZHANG Shulin (senior engineer), born in 1965, holds a Ph. D degree in structural geology. He has long been engaged in production and studies on oil and gas geology and geophysics. He has published many papers at Chinese periodicals and once participated in writing out three published monographs.

Add: CNOOC Research Center, Room 703, Haiyou Mall, No. 6, Xiaojie Dengzhimenwai Avenue, Beijing 100027, P. R. China  
Tel: + 861028452 3622 E2mail: zhangsh13@cnooc.com.cn

---

English Editor: JIANG Jingping  
TAN Rongrong  
Tel: + 86228601 2446  
E2mail: jjp@trqgy.cn