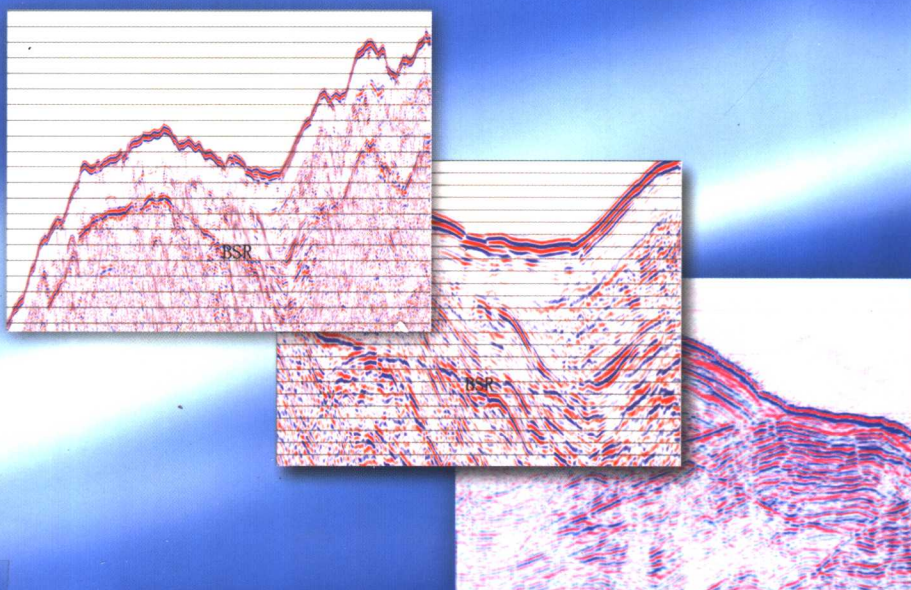


*Geophysical Researches
on Gas Hydrates*

天然气水合物 的地球物理研究

宋海斌 等著



天然气水合物的地球物理研究

宋海斌 等著

海洋出版社

2003年·北京

图书在版编目(CIP)数据

天然气水合物的地球物理研究/宋海斌等著. —北京:海洋出版社, 2003. 9

ISBN 7-5027-5942-5

I. 天... II. 宋... III. 天然气—水合物—地球物理学—文集 IV. P618.13-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 087047 号

责任编辑: 屠 强

责任印制: 严国晋

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

(100081 北京市海淀区大慧寺路 8 号)

北京鑫正大印刷有限公司印刷 新华书店发行所经销

2003 年 9 月第 1 版 2003 年 9 月北京第 1 次印刷

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 11.5

字数: 290 千字 印数: 1~1000 册

定价: 28.00 元

海洋版图书印、装错误可随时退换

序

宋海斌博士是我国应用地球物理学界的青年学者，他以对天然气水合物的地球物理、层状介质弹性参数反演、南海及张裂大陆边缘的研究成果而被学术界所关注。

宋海斌同志 1990 年在同济大学海洋地质与地球物理系以优异成绩提前一年毕业，被评为上海市高校优秀毕业生，随后保送随我读硕士研究生，对南海北部作综合地质地球物理研究，成绩优秀，表现出扎实的数理基础，良好的英语素质，以及对地质和地球物理综合研究的能力。1992 年 12 月提前毕业获得硕士学位。

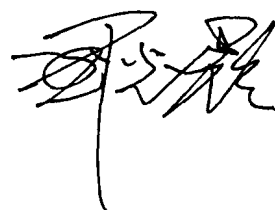
宋海斌 1992 年 12 月开始随马在田院士攻读博士学位，研究方向为反射地震学。对层状介质弹性参数反演作了深入研究，由于成果显著，他的博士论文被教育部和国务院学位委员会评为全国首届百篇优秀博士论文。在此基础上的专著《层状介质弹性参数反演研究》由高等教育出版社出版（2002）。博士论文的一些成果被写入《计算地球物理学概论》、《油储地球物理学导论》等专著中。

1996 年 5 月开始在中国科学院地球物理研究所固体地球物理博士后流动站从事博士后研究工作。对南海开展了深入系统的地质、地球物理综合研究。他的研究报告获得专家们一致好评，被认为是一篇富有创造性的优秀研究报告。他率先开展了南海北部张裂边缘的“准火山型”、“非火山型”类型分析研究，目前，这一问题的讨论已成为南海研究中的一个热点，为边缘海学术界所重视。

1998 年 6 月博士后出站，留所从事科研工作，任副研究员。1999 年地球物理所与地质所合并后，被聘为创新基地副研究员。2000 年 11 月至 2001 年 10 月由科技部推荐在日本地质调查所（日本产业技术综合研究所）任日本科技厅特别研究员（STA Fellow）。这五年来，主要在天然气水合物地球物理研究领域工作，发表了一系列论文，为提高我国天然气水合物的地球物理研究程度作了大量工作，被学术界与多个海洋地质调查单位所关注。他是我国地球物理学科第一个有关水合物研究的自然科学基金获得者；2001 年被邀请参加香

山科学会议作天然气水合物的地球物理技术报告，并受我国海洋地质主要调查部门：广州海洋地质调查局的邀请，向众多海洋地质调查人员作了学术讲座；2002 年在美国科学院中美前沿科学论坛上代表中方作海洋天然气水合物研究报告（该会议包含自然科学所有学科，共设八个专题，中方、美方各作一个报告）。据 2003 年 6 月《天然气水合物信息网》（<http://www.gas-hydrate.org.cn>）发表的统计信息，他是 1997 年以来在国内刊物第一作者发表有关天然气水合物论文最多的作者。

我看着宋海斌博士是怎样从一个大学毕业生成长为一名科研工作者，我曾先后作为他的硕士生导师和博士后导师，也是他博士论文答辩委员会的主席，因此了解他的每一点进步，也深感欣慰。天然气水合物的研究在我国起步较晚，他的《天然气水合物的地球物理研究》的出版无疑会推动这方面的研究发展。



2003 年 7 月 21 日

前言

我是1998年开始进行天然气水合物的地球物理调研与研究工作的,松林修博士告诉我“gas hydrates”这一词,请教刘光鼎老师才知道“天然气水合物”这一中文译名。当年阅读了有关天然气水合物地震研究的英文论文,在汪集旸院士的引荐下听取了地质科学院吴必豪研究员邀请的松本良教授的学术报告。1999年3月提交了《国家自然科学基金》申请书,当年获得国家自然科学基金委的批准。同年获得国家海洋局海底科学重点实验室课题的资助。与马在田院士、孙建国博士共同撰写《天然气水合物的地球物理探测技术》一文,与同济大学耿建华博士合作进行南海东沙海域的资料处理分析,国家海洋局第二海洋研究所方银霞提供给我一些中文文献。当年开始在一些学术会议(中国地球物理学会15届年会、海洋863青年学术会议、国家海洋局第二海洋研究所主办的海底科学国际会议)上宣传天然气水合物的地震研究、地球物理研究的先导作用。2000年教育部批准我为当年的同济大学教育部海洋地质重点实验室的访问学者。2000年5月完成东沙海域一文。2000年11月至2001年10月获日本科技厅特别研究奖学金,在日本地质调查所/日本产业技术综合研究所任STA Fellow,与松林修博士、仓本真一博士合作从事天然气水合物研究,对西南海海槽、东南海海槽、西沙海槽的地震资料进行处理,并研究完成了岩石物性模型、AVO分析、全波形反演、BSR给出地热等计算方法,撰写多篇论文。期间,2001年2月底至3月初回国参加金翔龙院士、戴金星院士主持的香山会议,应杨胜雄副总工的邀请与广州海洋地质调查局的同行进行学术交流。2002年4月参加第四届国际天然气水合物大会,2002年6月应韩国地质资源研究院的邀请作有关天然气水合物的学术报告,2002年11月应美国科学院的邀请在第五届中美前沿科学研讨会上代表中方作海洋天然气水合物(宋海斌、陈多福)的学术报告。同年与耿建华博士合作进行实际资料的AVO分析与叠前深度偏移速度层析成像工作。近期,开始关注天然气水合物体系的动态演化研究。

这5年中,得到了国内外众多老师与同行的帮助,除上文提及的老师与同行外,曾给予帮助的有 Shipley 博士、Max 博士、Yuan Tianson 博士、Okuda 博士、Tanahashi 博士、Kano 博士、Nabiullin 博士、Li Qingmou 博士;广州海洋地质调查局的陈邦彦教授、吴能友教授、张光学副总、符溪、文鹏飞、冯震宇、徐华宁、陶军、杨木壮、赵祖斌、沙志彬、梁金强、王宏斌;同济大学汪品先教授、周祖翼教

授、雷兵；中国地质科学院的杨文采研究员、祝有海研究员、卢振权博士；广州地球化学研究所的陈多福研究员；中国科学院海洋研究所的吴时国研究员；国家海洋局第二海洋研究所的李家彪研究员和黎明碧；中国科学院资源环境科学信息中心史斗研究员和郑军卫；中国科学院计算数学与科学工程计算所张文生博士等等。在此向他们以及未提及姓名的曾经支持我进行天然气水合物研究的老师、同行、朋友们表示衷心感谢。值得指出的是，我在日本地质调查所期间，曾收到陈邦彦教授鼓励我学好天然气水合物知识与技能，为将来我国天然气水合物研究多作贡献的书信，使我深受感动。他还把我的一份建议书发表在 2001 年的《海洋地质》上，内容吸收到 S863 项目指南中，2 年后我才获悉这一情况。这些老一代科学家的热情无疑鞭策着我们必须努力工作，不辜负他们的期望。2002 年 6 月我从姚伯初副总工处得知广州海洋地质调查局一位年轻人赵祖斌过世的消息，使我震惊万分，想起 2002 年 1 月他还热情地和我讨论最新东沙资料中的 BSR 问题，顿感悲伤。在我从事天然气水合物研究的过程中，先后结识了多名年轻人，希望他们开心地工作生活着。

本论文集汇集了我与合作者发表的 17 篇中文论文和 5 篇英文论文，反映了我们对天然气水合物地球物理研究的逐渐认识，用于与国内外同行的学术交流，希望为我国的天然气水合物的地球物理研究起抛砖引玉的作用。由于作者水平有限，五年的时间也不长，论文中肯定存在不少缺点和问题，谨请各位专家批评和指正。

本论文集的研究工作曾先后受到国家自然科学基金(49904007)、中国科学院全国优秀博士学位论文专项资金、国家重点基础研究发展规划项目(G20000467)、中国科学院知识创新工程项目(KZCX3-SW-219)、国家海洋局海底科学重点实验室课题基金与同济大学海洋地质教育部重点实验室访问学者基金的资助，在此向他们深表感谢。另外，衷心感谢 STA Fellowship 的资助以及与此有关的中、日双方的老师与朋友的帮助。感谢海洋出版社王嘉麟社长助理、屠强编辑的辛勤劳动。

宋海斌(hbsong@mail.igcas.ac.cn)

2003 年 6 月

目 次

海洋天然气水合物的地震研究进展	(1)
天然气水合物的地震响应(ODP184 航次 1144 站位附近的天然气水合物初探)	(3)
海洋天然气水合物的地球物理高新探测技术	(8)
海洋天然气水合物的地震识别技术	(14)
日本南海海槽天然气水合物研究现状	(17)
海洋天然气水合物的地球物理研究(I):岩石物性	(28)
海洋天然气水合物的地球物理研究(II):地震方法	(38)
南海北部东沙海域天然气水合物的初步研究	(47)
西南海海槽地震资料处理及其 BSR 特征	(55)
海洋天然气水合物的地震反演研究展望	(62)
天然气水合物的海洋地球物理研究进展	(65)
含天然气水合物沉积物的岩石物性模型与似海底反射层的 AVA 特征 ...	(71)
天然气水合物似海底反射层的全波形反演	(82)
海洋天然气水合物的地球物理研究(III):似海底反射	(89)
天然气水合物体系动态演化研究(I):地质历史演变	(97)
天然气水合物体系动态演化研究(II):海底滑坡	(110)
海洋天然气水合物的地球物理研究(IV):双似海底反射	(123)
A preliminary study of gas hydrates in Dongsha region north of South China Sea	(130)
Seismic data processing of western Nankai Trough and the character of its BSR	(138)
Volcanic rifted margins, marine gas hydrates and seismic studies(II)	(145)
Physical property models of gas hydrate - bearing sediments and AVA character of bottom simulating reflector	(153)
Full waveform inversion of gas hydrate - related bottom simulating reflectors	(165)
附录:其他天然气水合物论文题录	(174)

海洋天然气水合物的地震研究进展

宋海斌

(中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029)

天然气水合物在资源、环境、灾害三个方面均显得非常重要, 引起了地球科学研究者的极大关注。要认识天然气水合物的资源潜力及其对环境的影响和在海底不稳定方面的作用, 研究的重要问题是准确地了解天然气水合物特别是其主要组成——海洋天然气水合物的分布与数量。海洋沉积物中分布的气体水合物的底界在地震剖面上通常被识别为拟海底反射层(BSR), 因而在研究早期通过地震调查容易圈定海洋天然气水合物的大致分布范围。而目前, 海洋天然气水合物的地震速度、弹性参数结构研究已成为必须解决的关键问题, 它是较好地了解天然气水合物的分布、数量及形成机制的重要手段。

20 世纪 40 年代早期在天然气管道中已发现天然气水合物的存在, 但自然界中的天然气水合物是 60 年代在西伯利亚西部冻土带下面的沉积物中首次发现的。70 年代在海洋沉积物中发现了天然气水合物。随着近期大洋钻探与地震调查的发展, 人们发现天然气水合物在世界大陆边缘广泛分布。然而应该指出的是, 20 世纪 90 年代以来, 天然气水合物的研究才蓬勃发展。大洋钻探计划对海洋天然气水合物的研究给予高度重视, 设立了专项调查航次。如大洋钻探(ODP)164 航次在北美东南大陆边缘布莱克海台钻了三口井, 均钻穿预测的 BSR 深度, 采获了固态气体水合物样。日本通产省实施了勘探开发南海海槽区域海洋甲烷水合物的 5 年计划(1995~1999)。现已基本完成地球物理调查, 1999 年, 3 000m 深的勘探井将钻探南海海槽增生楔的甲烷水合物沉积。

海洋天然气水合物主要通过地震方法 BSR 识别。但是, 没有 BSR 分布的区域, 也发现有天然气水合物的存在(如 ODP164 航次)。虽然 BSR 与天然气水合物的底界相对应已成共识, 对 BSR 的成因尚有两种解释。一种认为是含水合物沉积物与含水沉积物的分界引起, 一种认为是含水合物沉积物与含游离气体沉积物的分界引起, 前者强调主因是含水合物, 而后者强调主因是含游离气体。此外, 有关天然气水合物的形成机制, 也有两种模型——“游离气体带模型”与“水合物楔模型”。而这些问题的认识只有通过得到有关水合物沉积的速度、弹性参数结构加以认识。

相对水合物稳定带深度处通常的沉积物, 纯水合物具有不同的物理性质, 如较高的纵波速度(3.3~3.8km/s), 较低的密度, 因此地震得到的速度及其他弹性参数对研究天然气水合物的分布非常有用。此外, 水合物稳定带下方可能存在的含游离气体沉积物则具有较低的纵波速度与泊松比。为了准确地了解 BSR 上方孔隙中水合物的数量、BSR 下面游离气体的分布, 天然气水合物沉积的地震速度结构研究在 20 世纪 90 年代开始兴起。国外研究者开展了大量的反射地震数据的正演与反演研究, 在 Science、Geology、JGR、Geophysics 等刊物

上均有一些论文相继发表。这些研究利用 BSR 反射系数、反射数据波形模拟以及振幅随炮检距变化(AVO)信息来约束 BSR 上方与下方地震纵波速度的变化。可见,天然气水合物研究中尚限于叠加速度分析、旅行时反演、叠后波阻抗反演和 AVO 分析,正在进一步研究的是一维叠前广角反射波形单参数反演。

从地震波动方程反演问题的研究进展来看,一维半空间的弹性参数反演无论在天然气水合物的研究方向上还是其他地球物理研究方向上均可望取得突破与广泛应用。因此,为获得天然气水合物沉积高分辨率的弹性参数结构,研究基于矢量波动方程的多个弹性参数叠前反演,进而估算天然气水合物的分布与数量,探讨其形成机制是国际上天然气水合物研究中关键的前沿问题。

天然气水合物的地震响应

(ODP184 航次 1144 站位附近的天然气水合物初探)

宋海斌^{1,2} 耿建华²

(1. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029; 2. 同济大学海洋地质教育部重点实验室, 上海 200092)

摘要:地震、测井与地温资料的分析表明,南海北部 ODP184 航次 1144 站位附近可能存在天然气水合物。在地震剖面上出现拟海底反射层、弱振幅带等天然气水合物分布标志。1144 站位拟海底反射层的深度与地温梯度资料得出的稳定带厚度较吻合。该海域拟海底反射层距海底较深,1144 站位处为 654m。在 1144 站位附近,弱振幅带的顶界可能代表含水合物沉积层的顶界,约在 450m 左右。由于沉积层层理大都平行于海底,所以在地震反射剖面上,不容易将 BSR 和地层反射波区分开来,而弱振幅带作为重要的识别标志非常关键。

关键词:天然气水合物 南海北部 拟海底反射层 弱振幅带 温压条件

1 引言

自然界中的天然气水合物主要为甲烷水合物,通常分布于大陆边缘与冻土带,它在资源、环境、灾害三个方面均处于非常重要的地位(Kvenvolden, 1993; 马在田等, 2000)。Markl 等(1970)在地震剖面上首次识别出拟海底反射层 BSR(Bottom simulating reflectors),并推测与海洋天然气水合物的存在有关。深海钻探与大洋钻探证实了大陆边缘海底沉积物中存在天然气水合物,BSR 对应天然气水合物稳定带的底界也得到了共识(Holbrook, et al., 1996)。BSR 与海底近于平行分布,具有强振幅与负极性的特征。BSR 上方振幅通常明显降低,呈现出空白带/弱振幅带。含天然气水合物沉积与大陆边缘浅层沉积物(速度 1.6~1.8km/s)相比具有较高的纵波速度。在许多大陆边缘,BSR 与沉积层层理斜交,较容易识别。而在南海(姚伯初, 1998)与东海冲绳海槽,沉积层层理与海底常常平行,BSR 的识别较困难。

2 地震剖面上 BSR 与弱振幅带的识别

南海是西太平洋边缘海之一,面积 $350 \times 10^4 \text{ km}^2$,海底地势自边缘向中心呈阶梯状下降,平均水深 1 212m,最大水深 5 377m。北部陆缘为张裂大陆边缘,分布有珠江口、琼东南、莺歌海与北部湾等含油气盆地,常规油气资源十分丰富。东沙群岛就位于较缓的北部陆坡上。

本文原载:同济大学海洋地质与地球物理系编. 反射地震学论文集. 上海:同济大学出版社. 2000, 227~231

1999年2~4月,在南海东沙与南沙海域实施了以“东亚季风史在南海的记录及其全球气候意义”为主题的大洋钻探(Ocean Drilling Project, ODP)184航次,取得了丰富的科学资料(Shipboard Scientific Party, 2000)(图1)。我们收集了用于确定ODP184航次东沙海域站位德国“太阳”号95航次采集的多道地震剖面。对这些地震剖面进行包括切除、滤波、叠加、反褶积与偏移的处理,分析发现在剖面上有拟海底反射层与弱振幅带等天然气水合物的存在标志。

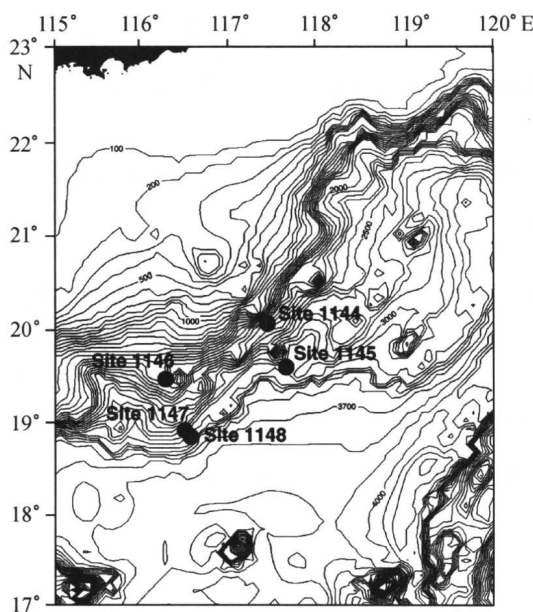


图1 ODP184航次站位位置(Shipboard Scientific Party, 2000)

184航次1144站位位于20°03'N, 117°25'E的东沙海域,水深2037m,最大井深450m。图2是一段炮检距为137.5m的共炮检距剖面,NW-SE向通过1144站位。该剖面上的BSR是弱振幅带与强振幅的分界,在1144站位处距海底双程旅行时0.72s,利用时深转换关系为654m。BSR下方的强振幅带很明显,延伸较长,愈15km。强振幅带与上方弱振幅带的厚度均较稳定,双程旅行时约为0.2s。BSR上方的弱振幅带是由于水合物胶结沉积物碎屑颗粒造成的,而强振幅带是沉积物含游离气引起的。弱振幅带顶界距海底0.52s,转换为深度447m。据中国地质科学院研究,1144站位存在顶空气异常,1146站位存在顶空气与孔隙水氯离子浓度异常,估计含水合物沉积层的顶深为400~450m左右,这与地震资料的解释是吻合的。而在剖面的右端,存在上部反射层上拉,而下部反射层下拉的现象,天然气可能在此处向上运移,在海底形成微小凸起地形。

图3是一段通过1144站位投影点的NE-SW向叠加剖面,该地震剖面上的BSR是弱振幅带与强振幅的分界。弱振幅带横向上厚度有变化,双程旅行时变化为0.2~0.4s。在1144站位处弱振幅带较薄,钻探最大深度450m接近弱振幅带的顶界。而强振幅带双程旅行时厚度约0.2s。1144站位处BSR距海底的双程旅行时为0.79s,根据时深转换关系,得出BSR距海底730m。值得注意的是,在该地震剖面上距海底约0.1s处存在与海底平行的强反射,在一些部位还与其他反射层斜交。这样的反射在南海其他的地震剖面上也常有,容

易被误解为拟海底反射层。与布莱克海岭的地震剖面(Dillon, et al., 1993)对照,发现这样的近海底强反射也存在,而真正的BSR则是弱振幅带的底界。BSR并不与小尺度的海底起伏一一平行,只是宏观上近似与海底平行而已。此解释与1144站位根据海底温度、地温梯度及天然气水合物相图确定的稳定带的底界基本一致。

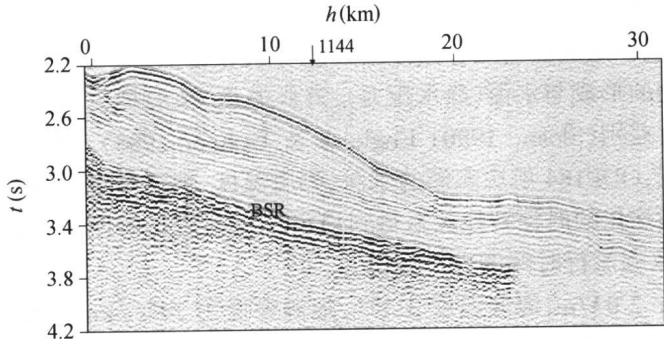


图2 通过 ODP184 航次 1144 站位的地震反射剖面

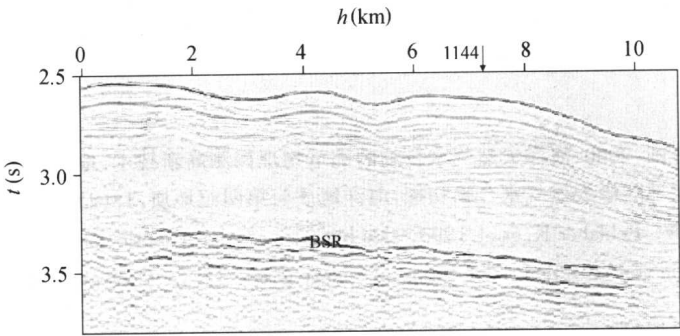


图3 通过 ODP184 航次 1144 站位投影点的地震反射剖面

3 声波测井资料的解释

1144 站位的声波测井速度在 110 ~ 440m 之间变化为 1.53 ~ 1.75km/s,可分为 3 段(图 4)。110~190m 为第 1 段,速度缓慢增大。190~375m 为第 2 段,速度随深度增加而起伏,且表现为递增快,递增慢。195m、230m 与 295m 为 3 个递增与递减的转折点。375~440m 为第 3 段,速度缓慢增加。1144 站位的声波速度与世界上对应深度沉积物的速度相当。该段测井曲线内速度值较低,测井平均速度为 1.62km/s。与 1146 站位、1148 站位的同深度测井速度相比,通常低 0.2~0.3km/s。分析表明,375 m 深度内不存在含水合物沉积层,440m 深度内不存在稳定

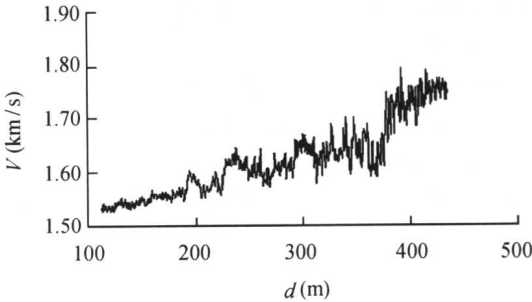


图4 ODP184 航次 1144 站位的声波测井曲线

带的底界。测井资料解释支持 1144 站位附近的 BSR 深度、水合物稳定带底界埋深较大的结论。

4 地温资料的分析

温度、压力和气体组成控制着自然界中天然气水合物的产状和分布。从水合物的相图上可以看出水合物的形成与水深(静水压力)、海底温度、地温梯度等直接相关,海水与纯水的相平衡曲线也有差别(Sloan, 1990; Englezos & Bishnoi, 1988)。根据纯水与盐水天然气水合物相平衡曲线、ODP184 航次实测的水深、海底温度、地温梯度计算了 1144 站位的稳定带厚度。并利用该站位的时深转换关系得到稳定带双程旅行时厚度,与通过站位的地震剖面上识别的 BSR 双程旅行时深度进行对比。

1144 站位水深 2 037m,海底温度 3.1℃,地温梯度为 24℃/km。纯水相图计算的 1144 站位水合物稳定带厚度为 800m,对应的双程旅行时厚度为 0.89s。盐水相图计算的水合物稳定带厚度为 720m,对应的双程旅行时厚度为 0.78s。地震剖面上识别的 BSR 距海底的双程旅行时为 0.72s。1144 站位地热资料计算的稳定带厚度与地震剖面识别的 BSR 深度比较吻合。

参考文献

- 马在田,宋海斌,孙建国.2000.海洋天然气水合物的地球物理探测高新技术.地球物理学进展,15(3):1~6
- 姚伯初.1998.南海北部陆缘天然气水合物初探.海洋地质与第四纪地质,18(4):11~18
- Dillon W P, Lee M W, Fehlhaber K, et al.1993. Gas hydrates on the Atlantic continental margin of the United States - control on concentration. The future of energy gases, U. S. Geological Survey Professional Paper, 1570:313~330
- Englezos P, Bishnoi P R.1988. Predictions of gas hydrate formation conditions in aqueous solutions. *Am. Inst. Chem. Eng.*, 34, 1718~1721
- Holbrook W S, Hoskins H, Wood W T, et al.1996. Methane hydrate and free gas on the Blake Ridge from vertical seismic profiling. *Science*, 273:1840~1843
- Kvenvolden K A.1993. Gas hydrate——Geological perspective and global change. *Rev. Geophys.*, 31:173~187
- Markl R G, Bryan G M, Ewing J I.1970. Structure of the Blake - Bahama outer ridge. *J. Geophys. Res.*, 75: 4539~555
- Shipboard Scientific Party.2000. Leg 184 summary: exploring the Asian monsoon through drilling in the South China Sea. In: Wang P, Prell W L, Blum P, et al., *Proc. ODP, Init. Repts.*, 184: College Station TX (Ocean Drilling Program), 1~77
- Sloan E D.1990. Clathrate Hydrates of Natural Gas. Marcel Dekker

A PRELIMINARY STUDY OF GAS HYDRATES IN ADJACENT REGION OF ODP184 SITE 1144 ON NORTH MARGIN OF SOUTH CHINA SEA

Song Haibin^{1,2} Geng Jianhua²

(1. Institute of Geology and Geophysics, CAS, Beijing 100029, China;

2. Key Lab of Marine Geology, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Seismic, sonic logging and geothermal data are analyzed for possible existence of gas hydrates in adjacent region of ODP184 site 1144 on north margin of South China Sea. Bottom simulating reflectors (BSR) and amplitude blanking zone are discovered in seismic profiles. The BSR depth is compared with thickness of gas hydrates stability zone from thermal gradient data. The BSR at ODP site 1144 is deep, which is 654 meters below sea floor. The top of amplitude blanking zone may be related with that of gas hydrates – bearing strata in adjacent region of ODP site 1154, which is about 450 meters below sea floor.

Key Words: Gas hydrates; North of South China Sea; Bottom simulating reflectors; Amplitude blanking zone; Temperature pressure condition

海洋天然气水合物的地球物理探测高新技术

马在田¹ 宋海斌^{2,3} 孙建国⁴

(1. 同济大学海洋地质与地球物理系, 上海 200092; 2. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029; 3. 国家海洋局海底科学重点实验室, 杭州 310012; 4. 中国新星石油公司石油物探研究所, 南京 210014)

摘要: 海洋天然气水合物是一种潜在的巨大能源, 在资源、环境、灾害方面处于非常重要的地位。发展海洋天然气水合物的地球物理探测高新技术——蕴藏量估算技术、深水高分辨率地震技术、井中地球物理技术、海洋电磁法探测技术, 准确了解天然气水合物的分布与蕴藏量, 对我国海洋天然气水合物产业的建立具有关键作用。

关键词: 海洋天然气水合物 地球物理探测 高技术

1 引言

天然气水合物是一种由天然气分子与水分子组成的类冰固态化合物。自然界中的天然气水合物主要为甲烷水合物, 通常分布于大陆边缘与冻土带, 它在资源、环境、灾害三个方面均处于非常重要的地位^[1,2]。天然气水合物是极端可燃混合物, 且 1m^3 天然气水合物约可释放出 164 m^3 甲烷。按国外专家估计, 天然气水合物中的气体含碳量是常规化石燃料(石油、天然气、煤)含碳量的两倍, 是一种潜在的巨大能源, 并且是一种绿色能源。天然气水合物在低温高压环境下是稳定的, 温压的变化会导致大量气体的释放, 从而引起滑坡等海底重大灾害。此外由于天然气水合物释放的甲烷是一种重要的温室效应气体, 对全球气候可能产生重要影响。因此, 对天然气水合物的研究已引起了发达国家与发展中国家科学家的极大关注。

2 国外研究现状与发展趋势

从 1810 年开始, 国外学者在实验室中研究天然气水合物, 直到 20 世纪 30 年代前苏联科学家在天然气管道中已发现天然气水合物的存在, 但自然界中的天然气水合物是 20 世纪 60 年代在西伯利亚西部冻土带下面的沉积物中首次发现的。20 世纪 60 年代前苏联、美国、荷兰、德国深入研究了天然气水合物的结构、热动力学和形成机理。70 年代初前苏联学者论证了地壳存在有天然气水合物生成带并可形成大的工业天然气水合物藏, 前苏联还发现了世界上第一个天然气水合物气田——麦索亚哈气田; 此外, 70 年代在海洋沉积物中发现

了天然气水合物^[4,5]。80年代以来前苏联、美国、加拿大、日本、印度等国对天然气水合物的研究给予高度重视,并从能源战略储备角度出发,纷纷制定了长远发展规划和实施计划,研究已相当普遍;参与研究的还有挪威、比利时、德国、荷兰等,多数利用深海钻探计划在钻井过程中取心来验证和评估天然天然气水合物资源量。随着深海钻探、大洋钻探与地震调查的发展,人们发现天然气水合物在世界大陆边缘广泛分布。90年代以来,天然气水合物的研究得以蓬勃发展。大洋钻探计划对海洋天然气水合物的研究给予高度重视,设立了专项调查航次。如 ODP164 航次在北美东南大陆边缘布莱克海台钻了三口井,均钻穿预测的似海底反射层 BSR(bottom simulating reflector)深度,采获了固态气体水合物样^[3]。日本通产省投入6 400万美元实施了勘探开发南海海槽区域海洋甲烷水合物的五年计划(1995~1999)。现已基本完成地球物理调查。1999年,3 000m 深的勘探井将钻探南海海槽增生楔的甲烷水合物沉积。近期,又制定了“把海洋甲烷水合物变成可开发利用的能源”计划。最近印度政府5年计划投入5 600万美元在孟加拉湾和阿拉伯海开展天然气水合物的调查研究工作。并已在印度洋西北的阿曼湾发现天然气水合物存在的证据。值得注意的是:美、法、日、德等国已着手安排全世界海洋沉积物上层的研究计划,以准确地查明产层,计算出水合物充填度。目前已探测了数千万千米的剖面,在几千个点上采了样,打了几百口井。工作最详细的水域是大西洋、太平洋赤道部分和印度洋的一些区域。

到目前为止,国外学者对天然气水合物形成与分解的物理化学条件、产出条件、分布规律、形成机理、勘查技术方法、取样设备、开发工艺、经济评价、环境效应及环境保护等方面进行了深入的研究。并在世界上确定出60处海洋天然气水合物蕴藏地,其中9处业经钻探证实。就开采技术而言,也已提出下伏游离气开采法、减压法和热激发法等技术。目前的发展趋势,开展地球物理、地球化学探测技术研究,以准确了解天然气水合物的分布与数量及天然气水合物沉积的精细结构,建立一套完整的勘探开发技术。

3 国内研究现状与中国寻找海洋天然气水合物前景预测

我国对天然气水合物的研究基本处于调研起步阶段^[6~8]。“九五”期间,中国大洋学会组织了“西太平洋气体水合物找矿前景与方法的调研”;国土资源部组织了“中国海域气体水合物找矿前景研究”;863计划820主题也支持了“海底气体水合物资源勘查的关键技术”前沿性课题;1999年国家自然科学基金委员会批准了3项涉及天然气水合物研究的基金。1990年,中国科学院兰州冰川冻土研究所冻土工程国家重点实验室科研人员曾与莫斯科大学冻土专业学者成功地进行天然天然气水合物工合成试验。1991年,该实验室又进一步研究了合成的条件。近年来,根据初步的BSR识别,我国科研工作者认为南海的西沙海槽北部陆坡、东沙岛附近、笔架南盆地、南沙海槽、南海南部的沙巴岸外^[9]、冲绳海槽、台湾东北及东南等海域是天然气水合物的可能分布区。1999年ODP184航次的北部两个钻孔中发现了较高的甲烷含量和较低氯离子浓度的孔隙水等天然气水合物异常。初步认为中国边缘海可能有可观的天然气水合物潜力。由于尚未开展系统研究,也没有建立高新的地球物理、地球化学探测技术体系,对BSR识别的合理性、天然气水合物在中国边缘海的分布及蕴藏量缺乏深入认识。跟国外的天然气水合物研究相比远远落后,与我国作为一个拥有300万km²管辖海域面积的能源消耗大国的地位极不相称。