

文章编号 :1000-0550(2001)02-0315-05

我国东海及邻近海域气体水合物可能的分布范围^①

栾锡武¹ 初凤友¹ 赵一阳¹ 秦蕴珊¹ 陈左林²

1(中国科学院海洋研究所 山东青岛 266071)

2(青岛海洋大学 山东青岛 266003)

摘要 由气体水合物稳定存在的温度—压力条件,根据我国东海及其邻近海域的海底温度、地壳热流和地温梯度的分布,指出了该海区气体水合物可能的分布范围。主要在东海陆坡即冲绳海槽的西坡、冲绳海槽的东坡、和琉球海沟的西坡、琉球海沟和菲律宾海盆。分析指出,目前并不能肯定东海陆架区不存在气体水合物稳定存在的区域。由于冲绳海槽的热流值较高,特别是冲绳海槽的中部轴区,那里有较高的地温梯度,因而,海槽两坡的气体水合物主要分布在南部冲绳海槽。

关键词 东海及邻近海域 气体水合物 分布

第一作者简介 栾锡武 男 1966 年出生 博士 副研究员 海洋地球物理学

中图分类号 TE122.1+1 **文献标识码** A

1 引言

气体水合物实质上是一种水包气的笼形物,主要形成于低温高压的环境中,外形似冰。石油工业最初关注这类物质是因为它不利于天然气的管道运输。目前,气体水合物倍受关注则是因为其广泛的分布和丰富的甲烷储量。60 年代,在西伯利亚梅索亚哈气田发现了天然状态存在的气体水合物。进入 70 年代,人们发现气体水合物不仅天然地赋存于两极的陆区,还存在于外陆深海沉积物的最上部。如现已在 14 处深海区采集到了气体水合物样品,在秘鲁近海、哥斯达黎加、危地马拉、墨西哥、美国东部和西部、日本近海两处的深海钻探中,也都采集到了气体水合物^[1]。越来越多的证据表明气体水合物广布于浅层的地圈中,是浅地圈的一个重要组成部分。不仅如此,气体水合物中的“气”主要是甲烷,因此,在地表以下深约 2 000 m 的浅层沉积气体水合物内隐藏着大量的甲烷,这种甲烷水合物的能量通量(在标准状况下每单位体积岩石中的甲烷体积)是其它非常规气源(如煤层、黑色页岩和深部含水层)能量通量的 10 倍,是常规天然气能量通量的 2~5 倍。据资料,陆地面积的 27%,海域面积的 90% 都有气体水合物分布,其储量大约相当于煤炭和常规石油天然气总量的三倍。据美国地质学家的资料,现代气体水合物的总资源量为 $1 \times 10^{18} \text{ m}^3$,据 28 届地质大会资料,气体水合物的资源量可达 $28 \times 10^{13} \text{ m}^3$ 。可见,气体水合物的储量极为丰富。有些科学家已肯定地指出气体水合物将是 21 世纪的重要能源^[1~5]。

我国东海及邻近的海域不仅具有丰富的地质内涵,而且具有丰富的石油天然气资源,从六十年代开始在该区域进行的以构造演化和矿产资源为主要目的地质地球物理调查^[6~9]积累了大量的资料,其中包括海底温度资料,地壳热流资料,地温梯度资料等,以此为基础现在着手该海区的气体水合物的调查研究,对我国下个世纪的经济将有着深刻的意义。

2 气体水合物稳定存在的温、压条件

Davy 于 1810 年第一次在实验室发现了氯气的水合物^[10],Faraday 和 Villard 对它进行了研究^[11~12],他们的工作表明,在一定的温度与压力条件下,甲烷和乙烯可形成水合物,并得到了形成水合物的温度压力曲线。Kobayashi 和 Marshall 进一步作实验,修改了 Villard 的曲线^[13]。Katz 和 Kvenvolden and McMenamin 对气体水合物形成的温度压力条件进行了进一步的研究^[14]。并在纯水纯甲烷的系统中分别溶入 NaCl 和 CO_2 , C_2H_6 , H_2S , C_3H_8 气体,发现气体水合物的稳定曲线随溶入物的浓度变化而变化。图 1 是 Katz 和 Kvenvolden and McMenamin 给出的气体水合物相图。从相图可以看出,气体水合物在自然界的赋存受温度、压力等条件相互作用的控制。温度范围一般在 $-10^\circ\text{C} \sim 30^\circ\text{C}$,相应的压力范围为 1~100 MPa。如果温度升高相应的压力也必须升高。比如在 0°C ,只要压力条件大于 3 MPa 就可以形成气体水合物,而当温度升高到 20°C 时,压力必须大于 20 MPa,气体水合物才能稳定存在。在甲烷水

① 国家自然科学基金(批准号:40006004)和中国科学院院长基金资助

合物的温压域 相界位置不仅取决于气体混合物的组合 而且还取决于水中的离子杂质。从相界资料可以推出,在地表温度低于 0℃ 的两极大陆区,如果假定表层沉积物的密度为 2 000 kg/m³,则 150 m 深处,沉积物的静压力可以达到 3 MPa,即存在甲烷水合物的深度上限约为 150 m。在大洋沉积物中,假如气体水合物出现在底层水温接近 0℃ 的地方,则水深超过 300 m 处可以满足气体水合物稳定存在的压力要求。甲烷水合物赋存的深度下限还取决于地温梯度,一般最大深度下限是在固体表面之下约 2 000 m,因此气体水合物仅赋存于浅地圈中,主要是极地和深海。

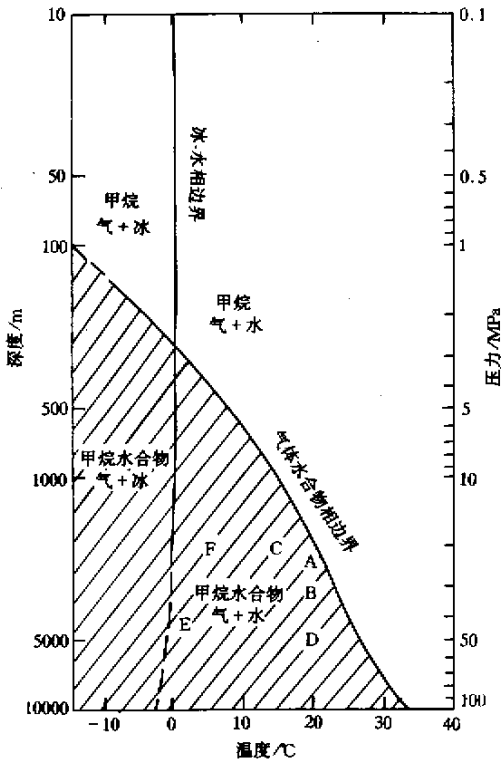


图1 甲烷气形成水合物的温度—压力条件, (据 Kvenvolden and McMenamin)

Fig.1 Hydrate-gas phase boundary diagram. (Modified from Kvenvolden and McMenamin)

3 东海及邻近海域的海底温度分布

温度是控制气体水合物稳定存在的一个重要条件。分析东海及邻近海域气体水合物的分布范围,首先应该分析海底温度分布。科学一号科学考察船在 KX90—1、KX91—1 海底地壳热流测量航次^[9]和 KX99—1 海底沉积物采样航次都对海底沉积物进行了温度测量。图 2 给出了这三个航次的海底温度测量结果。三个航次进行海底温度测量的站位共有 124 个,

主要分布于冲绳海槽的北部、南部和东海陆架的温州外海。这些海底温度资料基本上可以反映出东海及其邻近海域的海底温度分布特征。从图上可以看出,海底的温度分布明显和海底的深度相关,海底深度较浅,温度较高,海底的深度较大,则温度较低。整个东海陆架,海底的温度较高,如温州外海周围,HF16 站位 (122°10.9'E, 28°01.6'N),水深为 64 m,海底温度为 18℃,深度增加,海底温度稍有降低,但总体来看,海底温度相对较高,水深在 250 m 以浅,海底温度一般都在 12℃~16℃,个别站位,如 E050(26°40.02'N, 124°59.87'E) 站位,水深 137 m,所测的海底温度为 22℃,E044(26°44.19'N, 125°07.75'E) 站位,水深 145 m,所测海底温度为 21℃,这两个站位的温度值比 HF—16 站位的温度还要高。冲绳海槽区域水深较大,相对的海底温度较低,如北部冲绳海槽的 Y137(30°25.32'N, 128°15.37'E) 站位,水深 550 m,海底沉积物的温度为 5℃,南部冲绳海槽 E064(25°48.75'N, 125°14.03'E) 站位,水深为 2 056 m,海底温度为 4℃。最低温度为 E068(25°43.97'N, 125°06.42'E) 站位,位于南部冲绳海槽,水深为 2 127 m,海底温度为 3℃。需要指出的是,热流测量航次和底质取样航次是用不同的方法进行海底温度测量的。在进行底质取样时,当底质样品被放到甲板上,首先用温度计测量取样器中样品的温度,这个温度值被认为是海底的温度,而在进行海底地壳热流测量时,海底的温度是直接用地壳热流探针测量的。一般认为热流探针的测量结果比温度计的测量结果可信度高。实际上,温度计测量的根本不是海底温度,首先,沉积物从海底上升到海面引起的压力变化会带来温度变化,同时,海底沉积物在上升过程中并不是个绝热过程,在水深较大,沉积物样品从海底到甲板上升时间较长时(2 000 m 时,需 1 个小时),存在一定程度的热损失。不过,一般压力变化引起的温度变化和热损失都较小,在本问题中可以不予考虑。另外,季节变化可以影响海底温度。在 500~800 m 的半深水海区,沉积物表层 0~2 m 明显地受到水文季节变化的影响,但幅度都在 1~2℃ 左右,在本问题中也可以不予考虑。

4 东海及邻近区域的海底热流分布

海底热流是沉积物的热导率和温度梯度的综合反映,如果一个区域沉积物的类型相似,那么,海底热流的差异,则基本上可以认为是地温梯度的差异,从而通过海底热流的分析可以大致确定地壳的温度结构。该研究区域共有 400 多个热流数据^[15](热流站位如图 3),分布于东海陆架、冲绳海槽、琉球海沟西坡、琉球海沟及菲律宾海盆。东海陆架的热流数据来自科学

一号自八十年代以来的海底热流调查和钻井资料,冲绳海槽、琉球海沟和菲律宾海盆的热流资料来自我国台湾、美国、前苏联、日本等国自六十年代以来的海底热流调查。世界大洋的平均热流值为 60 mW/m^2 ,但

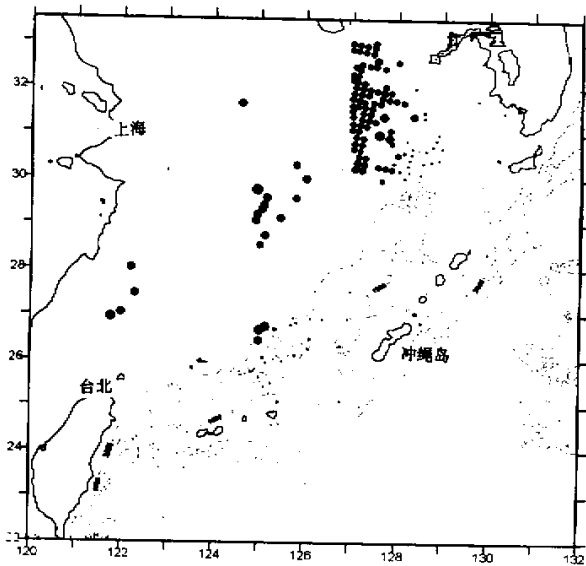


图2 东海及其邻近海域海底温度测量
站位及大小(最大黑点为 22°C , 最小黑点为 3°C)

Fig.2 Sea floor temperature distribution
and measuring stations in the study area (the
largest dot is 22°C , the smallest dot is 3°C)

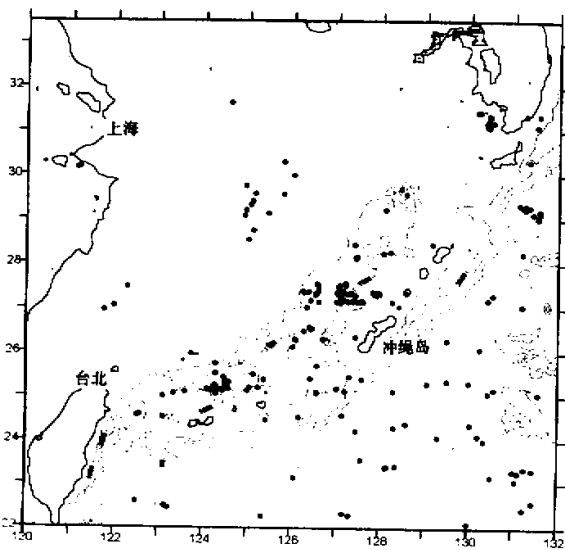


图3 东海及其邻近海域海底热流站位图
Fig.3 Sea floor heatflow positions in the study area

从本区可以看出,该区的热流分布表现出明显的异常。

最突出的特点是热流值高低差异悬殊。在鹿儿岛以外、冲绳海槽中部有的站位热流值超过 2000 mW/m^2 ,如夏岛 84 海凹 ($27^\circ35'N, 127^\circ09'E$)、东海凹 ($27^\circ35'N, 127^\circ12'E$)、伊是名洼陷 ($27^\circ13'N, 127^\circ03'E$),为罕见的巨高热流异常区。而在巨高热流异常区的附近,以及南部冲绳海槽则出现极低的热流异常区,如台湾九连号 1978 年在南部冲绳海槽的热流调查航次的 14 站位 ($25^\circ06'N, 123^\circ33'E$, 水深 2090 m),所测得的热流值只有 8 mW/m^2 ,为整个研究区域的最低值。从整体上看,本区的热流分布可以分为东海陆架正常热流值区、冲绳海槽高热流值区、琉球海沟极低热流值区和菲律宾海低热流值区。东海陆架在 $50 \sim 200 \text{ m}$ 等深线之间有 8 个热流值,最大为 72 mW/m^2 ,最小为 58 mW/m^2 ,热流波动较小,属正常热流值范围。冲绳海槽 200 多个热流数据平均为 200 多 mW/m^2 ,而且数值波动很大,如前所述,高者超过 2000 mW/m^2 ,低者只有 8 mW/m^2 。详细的热流调查显示,冲绳海槽的高热流仅限于北部和中部海槽的中轴,主要是热液活动区。琉球海沟和菲律宾海盆为一热流低值区,尤以海沟西坡的热流为最低,都在 40 mW/m^2 以下。

5 温度—压力条件分析

前面已经提到气体水合物的稳定存在需满足图 1 给出的温度压力条件。现从一条横穿东海陆架、冲绳海槽、琉球岛弧、琉球海沟和菲律宾海盆的剖面来分析其存在气体水合物的温度—压力条件。该剖面各段的水深、海底温度、地温梯度和沉积物密度如表 1。

根据上面讨论的该研究区的海底温度分布,东海陆架的海底温度取 15°C ,冲绳海槽中轴的海底温度取 3°C 。琉球海沟和菲律宾海盆没有海底温度数据,根据水深和热流资料综合考虑,海沟底的温度取 2°C ,菲律宾海盆的海底温度取 3°C 。东海陆架区的地温梯度根据钻井资料给出,21 口钻井最高地温梯度 $34.43^\circ\text{C}/\text{km}$ (玉泉二井),最低 $26.24^\circ\text{C}/\text{km}$ (美人峰一井),平均取 $32^\circ\text{C}/\text{km}$ 。考虑到冲绳海槽较高的热流值,因此海槽中轴的地温梯度取 $70^\circ\text{C}/\text{km}$ 。海槽两坡的地温梯度仍取 $32^\circ\text{C}/\text{km}$ 。在琉球海沟西坡考虑到冷海洋板块的俯冲吸热以及极低的海底热流,海沟西坡的地温梯度取 $22^\circ\text{C}/\text{km}$ 。整个海区沉积物的密度统一取 2100 kg/m^3 [6]。有了水深和沉积物的密度就可以计算不同深度的海水静压和沉积物静压。有了海底温度和地温梯度就可以计算海底以下不同深度的温度值。计算结果如图 4 所示。由图 1 知,如果气体水合物要在 30°C 以上稳定存在,则其相应的压力必须超过

表 1 横穿东海—琉球沟弧盆系一条剖面的水深、海底温度、地温梯度和沉积物密度参数

Table 1 Parameter of depth, sea floor temperature, temperature gradient and sediment density in the study area

	东海陆架	海槽西坡	海槽中轴	海槽东坡	琉球岛弧	海沟西坡	海沟底	菲律宾海
水深 /m	100	1000	2500	1000	0	3000	6000	5000
海底温度 /°C	15	5	3	5	10	3	2	3
地温梯度 /°C·km ⁻¹	32	32	70	32	32	22	32	32
沉积物密度 /kg·m ⁻³	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100

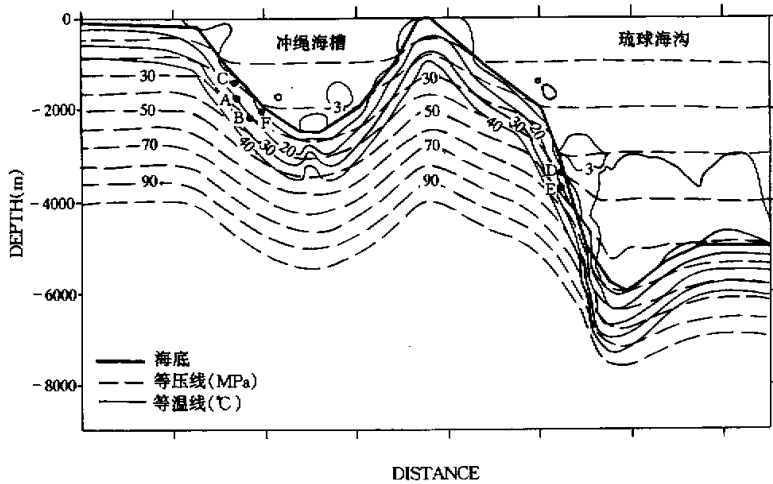


图 4 东海及其邻近海域的海底温度结构和压力结构

Fig.4 The temperature and pressure structure of the sediment in the study area

75 MPa。从图 4 可以看出在本区除琉球海沟的沟底以外,东海陆架、冲绳海槽、琉球岛弧和菲律宾海盆都不能满足这一条件,从本区温度—压力递增的趋势推测,气体水合物不可能存在于除琉球海沟以外的 30°C 等温线以下的区域。20°C 等温线在全区存在,由图 1 知,气体水合物在 20°C 稳定存在需压力超过 20 MPa,这在冲绳海槽、琉球海沟和菲律宾海盆都能满足。10°C 等温线在东海陆架及部分浅陆坡和琉球岛弧浅部不存在,在其它区域都能满足气体水合物稳定存在的压力条件。将图 4 中的 A、B、C、D、E、F 投影到图 1 中,它们对应的 A、B、C、D、E、F 点全都落在气体水合物稳定存在的范围。

6 讨论与结论

由上面的温度—压力条件分析可以推出,在冲绳海槽、琉球海沟和菲律宾海盆的浅部(30°C 以上)所具有的温度—压力条件都能使气体水合物稳定存在。就是说这些区域有可能存在气体水合物。应该指出,上

面表 1 的各参数给出是粗略的,因此由此给出的温度—压力分析也只能是粗略的。现在还不能简单得出东海陆架不可能存在气体水合物的结论。东海陆架的水深浅于 250 m,海底温度一般在 15°C,海底沉积物的温度受上层海水的温度变化影响较大,15°C 的海底温度用于分析气体水合物的是否存在有些偏高。平湖 5 井在 1 645 m 的温度为 60°C,2 850 m 的温度为 104.4°C,3 730 m 的温度为 140°C,温度梯度为 33.36°C/km,由此推算到海底的温度应该是 5.13°C,比实测的海底温度要低很多,这可能在海底以下接近海底部分温度并不是递增的,而是递减的,所以最低温度不出现在海底。如果这个最低温度足够低,并且深度足够大,有可能也满足气体水合物稳定存在的条件,从而在东海陆架区也存在满足气体水合物稳定存在的区域。众所周知,冲绳海槽是一个热海槽,这儿既有高热流异常区,又有正在活动的现代海底热液活动区,所以拥有高的温度梯度是正常的。表 1 中,冲绳海槽轴区的温度梯度取得较低是考虑到海槽的高热流并不覆盖全海槽,

而是局部的,特别是南部海槽区有较低的热流值,所以本文的温度—压力分析更代表南部海槽的情况,在中、北部海槽高热流的区域不可能有满足气体水合物稳定存在的区域。

参 考 文 献

- 1 Keith A. Kvenvolden, Gas hydrate geological perspective and global change [J]. *Reviews of Geophysics*, 1993, 31(2):173~187
- 2 徐学租,程国栋,俞祁浩.青藏高原多年冻土区天然气水合物的研究前景和建议[J].*地球科学进展*,1999,14(2)201~204
- 3 姚伯初.南海北部陆源天然气水合物初探[J].*海洋地质与第四纪地质*,1998,18(4):11~18
- 4 雷怀彦,王先彬等.天然气水合物研究现状与未来挑战[J].*沉积学报*,1999,17(3)493~498
- 5 史斗.气体水合物是一种新的烃类资源[A].*国外天然气水合物研究进展*[C].兰州:兰州大学出版社,1992.17~25
- 6 刘光鼎.中国海及邻近海区地质与地球物理特征[M].北京:科学出版社,1992
- 7 秦蕴珊等.东海地质[M].北京:科学出版社,1992
- 8 金翔龙.东海海洋地质[M].北京:科学出版社,1996
- 9 李乃胜.冲绳海槽地热[M].山东青岛:青岛出版社,1995
- 10 Englezos P, B Shnio P R. Fluid Phase Equilib *AIChEJ*. 1988 42 :129
- 11 Fraday M. On the condensation of several gases into liquids[J]. *Phil. Trans.*, 1823, 22 :189
- 12 Villaed M. Dissolution des liquides et des solides dans les gaz[J]. *Campt. Rend.* 1888, 106 :453
- 13 Kobayashi R, Katz D L. Methane hydrate at high pressure[J]. *Petrol. Technol.* 1949, 1 :66
- 14 Kvenvolden K A, McMenamin M A. Hydrocarbon gases in sediment of the shelf slope and basin of the Bering Sea[J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1980, 44 :1145~1150
- 15 栾锡武.我国东海及邻近琉球沟弧盆系的热流分布及冲绳海槽的地球动力学热模拟[J].*海洋与湖沼*,1997,28(1)44~48

The Possible Distribution of Hydrate Gas in the Area of East China Sea and Its Vicinity

LUAN Xi-wu¹ CHU Feng-you¹
ZHAO Yi-yang¹ QIN Yun-shan¹ CHEN Zuo-lin²

1 (Institute of Oceanology, CAS Qingdao Shandong 266071)

2 (Ocean University of Qingdao, Qingdao Shandong 266003)

Abstract

The area of East China Sea and its vicinity includes East China Sea Shelf, Okinawa Trough, Ryukyu Island, Ryukyu Trench and the west part of Philippine Sea. This is the famous zone of collision and subduction between an ocean block and a continental block. It is famous and attractive not only for its complex tectonic content but also for its abundant oil and gas resources. Since 1960s, the Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences has conducted many geology and geophysics explorations in the area of East China Sea and its vicinity, such as seismic reflection explorations, seismic refraction explorations, heatflow measurements, sea floor temperature measurements and samplings. Recent years, scientists all over the world pay attention to the gas hydrate study in this area. This paper gives a brief introduction to what is gas hydrate and its steady state under a given temperature-pressure condition. All the geological and geophysical data obtained in the explorations mentioned above has been carefully studied in the view of gas hydrate. Based on this data, the pressure and temperature was calculated along a profile which is perpendicular to the tectonic direction of Ryukyu T-A-Ba system down to several kilometers from the sea floor. Steady temperature-pressure condition of the gas hydrate is also analyzed along this profile. The paper points out that the possible areas that the gas hydrate can be steadily exist mainly are the west slope of the East China Sea, the west part of Okinawa Trough, the east slope of Ryukyu Trench and Philippine basin. The paper points out that it can not say that there are area in the East China Sea basin that the hydrate gas can steadily exist.

Key words East China Sea and its vicinity area gas hydrate distribution