

西太平洋天然气水合物矿藏找矿远景刍议

吴必豪 马开义

陈邦彦 张光学

(中国地质科学院矿床地质研究所, 北京) (广州海洋地质调查局, 广州)

天然产出的气体水合物或称天然气水合物, 是一种由碳氢气体与水分子组成的白色结晶状物质, 产于海底与极地冻土带的沉积物孔隙中。这是近 20 年来所发现, 从物化性质到赋存产出特征均不同于传统油气矿藏的新型能源。因其能量密度高、分布广、规模巨大, 被认为是一种潜力很大的替代资源。

气体水合物最初在 1965 年发现于俄罗斯西西伯利亚油气田, 之后在阿拉斯加和北美洲等高寒地区也相继发现^[1]。国际深海钻探计划——DSDP (尔后为大洋钻探计划——ODP), 于 1979 年在美国东海岸的大西洋海域与东太平洋的中美洲海槽的深海钻孔中首次发现了海底气体水合物的存在^[2]。根据钻井和物探的资料, 1980 年世界各大洋中所发现的天然气水合物矿点 9 处^[3], 迄今已猛增到 58 处 (见图 1)。与此同时, 西方各国近 10 余年来还从不同侧面加强了对海底水合物的研究, 对其物理性质、产出条件、分布规律、勘查技术、开发的工艺与环境影响等方面都进行了不同程度的科学考察和研究, 取得了多方面的成果, 可以说形成了一个水合物研究的热潮。新近美国地质学会主席莫尔斯在其“基础研究的社会效益”一文中, 就曾将气体水合物的发现作为六大例子之一, 列入帮助美国经济和人民健康的栏目中^[4]。

1 海底天然气水合物的形成分布及资源潜力

气体水合物在结构上是一种笼状包合物。水分子在低温高压条件下可形成一些多面体结构 (笼状结构), 多面体内部是空的, 当其遇到小于 0.9 nm 的客体分子, 如甲烷 (CH_4)、乙烷 (C_2H_6) 等分子时, 就可包笼它们, 形成甲烷或乙烷包合物。水分子的五角十二面体、十四面体、十六面体和二十面体是包笼甲烷、乙烷的主要结构。依水分子晶体结构组合的不同, 可将气体水合物分成 3 种类型: I 型结构、II 型结构和新近发现的 H 型结构^[5]。无论哪一种水合物组合结构, 它们均不同于一般的化合物, 不具备严格的化学式, 常用通式 $\text{M} \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 表示。

天然气水合物形成的最主要条件是, 必须有充足的物质来源 (包括天然气和水), 适当的温压条件和地质构造环境。天然气 (主要是甲烷) 的来源包括生物化学成因由沉积物中的有机质转化而来和热解成因 (来源于下伏的天然气田或地壳的深部) 两大类。但更可能是上述两种类型的混合。对固相气体水合物形成并稳定存在的物理化学研究表明, 其最佳温度是 $0 \sim 10^\circ\text{C}$, 压力则应大于 10 MPa。气体水合物的形成模式可能有低温冰冻模式、海浸模式、自生-成岩模式、沉积模式以及各种渗滤模式 (如压渗模式、地热模式、气流模式等)。

在自然界, 气体水合物主要产于两类地区, 一是高纬度的大陆地区, 主要是永久冻土带

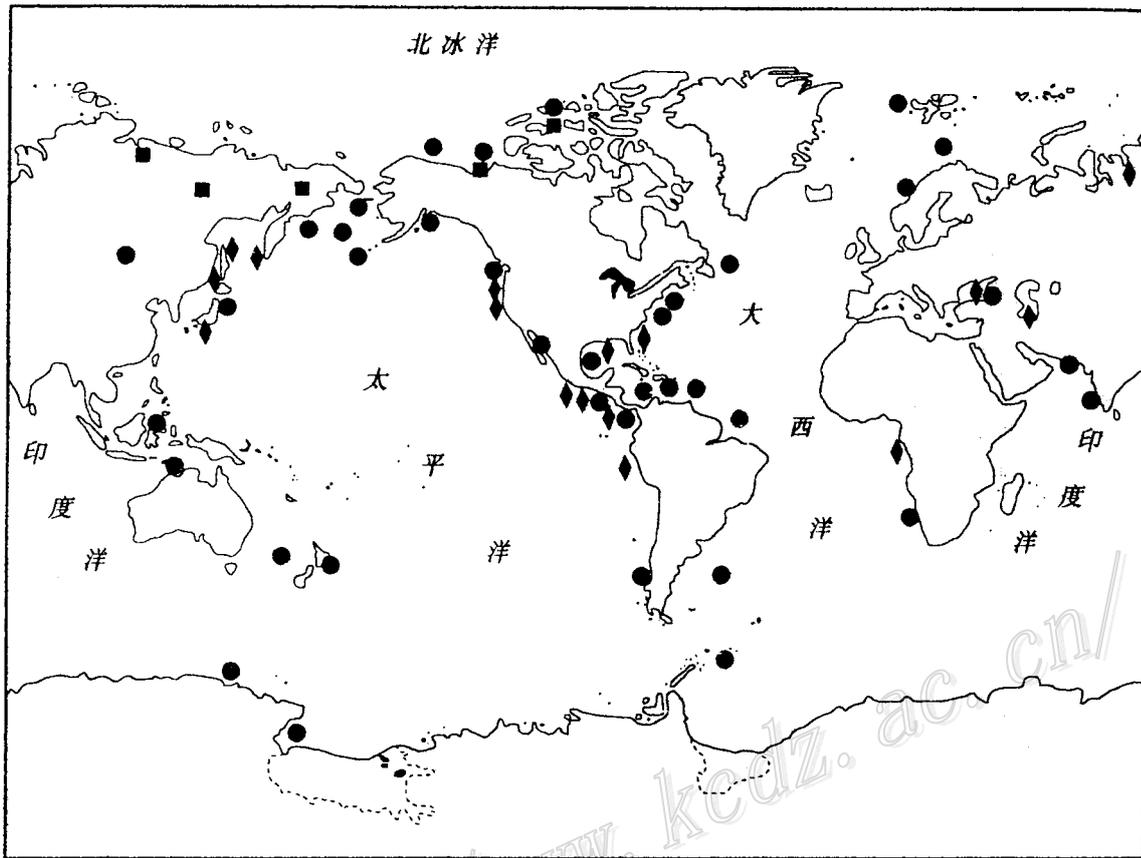


图1 天然气水合物在大陆(方形)和海洋沉积物中的分布

(据 Kvenvolden et al. 1993 修改)

菱形表示已直接见到的水合物沉积; 圆形表示物探预测的矿点

的地下油气田, 如西伯利亚和阿拉斯加地区, 其形成可能属于低温冰冻模式。另一类产于海底沉积层中, 它是在特定的构造条件下, 流体通过各种途径向上渗滤结冰成为气体水合物。是当今研究的重点。海底气体水合物主要产于新生代地层中, 其中又以上新统为主。它们赋存于水深为 300~5500 m 的海底沉积物中, 海床之下埋深 0~650 m 处。矿层厚度数十厘米、数米至上百米, 分布面积数万至数十万平方公里。沉积物类型为粉砂质泥岩和泥质粉砂岩, 其次为砂岩、粉砂岩及坡积岩。沉积层中的水合物含量可从百分之几至 95%。其产出地质构造环境主要为板块的聚合边缘大陆坡、被动边缘大陆坡、水下高地、边缘海和内陆海, 尤其是那些与泥火山、热水活动、盐(泥)底辟及与大型断裂构造有关的海盆, 可能还包括扩张盆地。具有这类条件的水域约占海洋总面积的十分之一, 相当于 $4000 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。

气体水合物不仅分布广, 而且能量密度高, 在标准状态下, 其体积与水分子体积之比为 164:1, 即每立方米的固体水合物可释放出 180 m^3 的甲烷气体。这意味着气体水合物的能量密度是煤和黑色页岩的 10 倍, 是传统天然气的 2~5 倍。与传统油气藏相比, 气体水合物的规模极为巨大, 许多海域的甲烷储量可达数万亿至数百万亿立方米。如大西洋西部布莱克海

底高原所发现的水合物中甲烷量多达 100 亿吨（以甲烷碳量计），可满足全美国 105 年天然气的需求量；日本海东北部和南海海槽的统计，其水合物资源量可满足日本 100 年的能源消耗。世界各大洋中气体水合物的总资源量，换算成甲烷气体，约 $1.8 \times 10^{16} \sim 13.9 \times 10^{16} \text{ m}^3$ [6]。这大约相当于全世界已知煤、石油和天然气等化石燃料的两倍。因此，气体水合物被称为“未来能源”或“21 世纪能源”。

2 西太平洋海域天然气水合物的找矿前景

与东太平洋、大西洋相比，西太平洋是天然气水合物资源调查研究相对薄弱的海域。但从已有的调查资料及基础地质背景看，它的不少海区也都具备良好的成矿地质条件，并在多处发现物化探找矿标志。自北而南如白令海、鄂霍茨克海、千岛海沟、日本海、南海海槽、南沙海槽、苏拉威西海、新西兰北岛东坡，豪勋爵海底高原，以及罗斯海 [7~11]，均已在海底沉积物或钻孔岩心中发现气体水合物，或地震的拟海底反射层（BSR）（Bottom Simulating Reflection）（见图 2）。在南海、东海、西南太平洋海盆等未曾开展水合物调查的海区，也分别存在板块汇聚或被动型的边缘陆坡、海底高原等，而且沉积物厚度大，油气田分布广泛；此外，在冲绳海槽已发现富含 CO_2 型的气体水合物（据侯增谦提供资料）；在南海北部陆坡

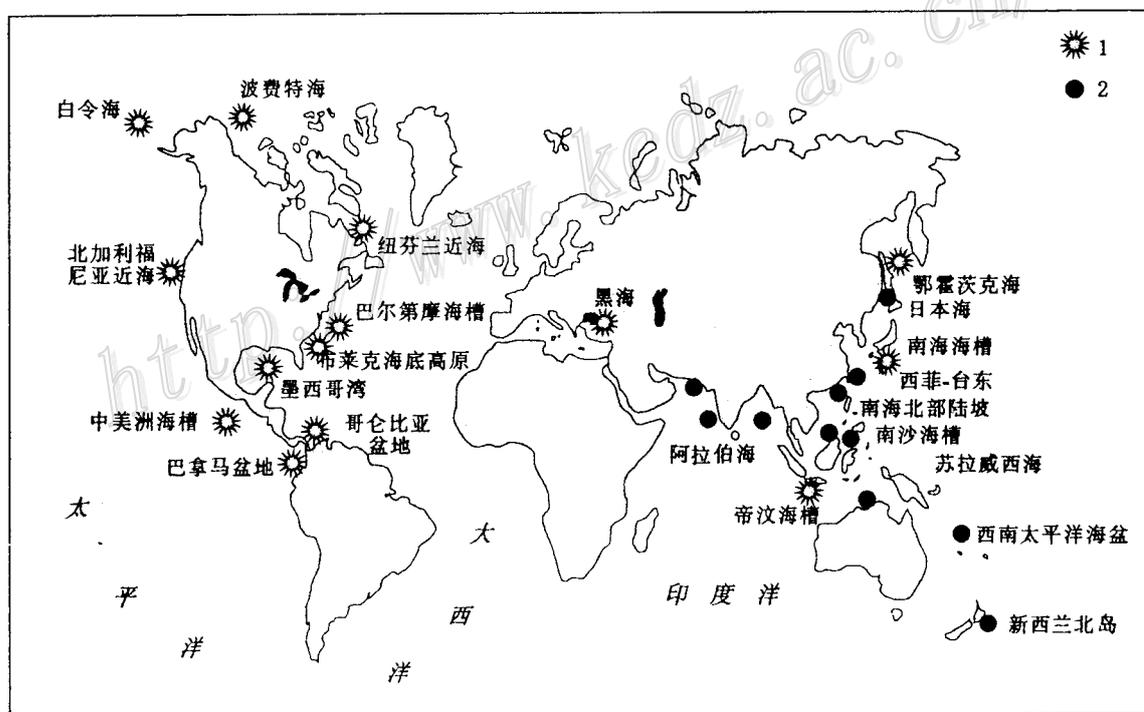


图 2 天然气水合物远景区分布图

1—可能有大型矿床分布的远景区；2—有利远景区

中部、东北部也初步发现有 BSR 或似 BSR 反射层；从卫星热红外扫描对海面温度所进行的长期观察看，上述已发现水合物或 BSR 物探标志的海区，在瞬时构造运动期间，也均有温度异常出现，可能为海底水合物受压而释放出气体，并在海面被激发增温所致。综上所述，可以认为：西太平洋海域天然气水合物的找矿前景可与东太平洋相比拟；在南海、东海、台东我国所管辖及其近邻海域以及离我国大陆较近的西南太平洋海盆区，可作为我国近期调查找矿或国际合作勘查的目标区。

参 考 文 献

- 1 Makogen U F. Hydrates of Natural gas, M., Nedra, 1974.
- 2 Kvenvolden K A, Kastner M. Gas hydrates of the peruvian Outer continental margin, Proc. ODP, Sci, Results, 1990, 112: 413~440.
- 3 Kvenvolden K A, Ginsburg G D, Soloviev V A. Worldwide distribution of subaquatic gas hydrates, Geo-Marine letters V B, 1993, 21~40.
- 4 Moores E M. Societal benefit of basic research, GAS TODAY, 1996, (8).
- 5 Ripmeester J A, Ratcliffe C I, Klue D D, Tse J S. Molecular perspectives on structure and dynamics in clathrate hydrates, in E D Solan, J Happel Jr, M A Hnatow eds. Annals New York Academy of Sciences, 1994, 161~176.
- 6 Gornitz V, Fung I. Potential Distribution of Methane Hydrates in the world's Oceans, 《Global Biogeochem》, Cycles 8, 3 sept. 1994, 335~347.
- 7 Ginsburg G D, Soloviev V A, Cranston R E et al. Gas hydrates from the continental slope offshore from Sokhalin Island, Okhotsk Sea, Geo-Marine letters, 1993, (13): 41~48.
- 8 Proc. ODP. Init Repts, College station, TX, 1990, 127.
- 9 McIver R D. Hydrocarbon gases in canned core samples from Leg 28 Sites 271, 272 and 273 Roes Sea, Init Repots DSDP, 1975, 28: 815~817.
- 10 Katz H R. Evidence of gas hydrates beneath the continental slope, east coast, North Island, New zealand, Journ of Geol. Geophy, 1982, 25 (2): 125~141.
- 11 Ulrich Berner, Eckhard Faber. Hydrocarbon gases in surface sediments of the South China Sea. Marine Geology and Geophysics of the South China Sea. Edited by Gin Xianglong and H R Kadrans Guy Pautot, 1990.