东海天然气水合物地球化学找矿与远景预测

Geochemical Prospecting for Gas Hydrate and Its Perspective Prediction in East China Sea

卢振权[1] 龚建明[2] 吴必豪[1] 陈建文[2] 邓 坚[1]

（1 中国地质科学院矿产资源研究所，北京 100037；2 中国地质调查局青岛海洋地质研究所，山东 青岛 266071）

Lu Zhenquan[1], Gong Jianming[2], Wu Bihao[1], Chen Jianwen[2] and Deng Jian[1]

(1 Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China; 2 Qingdao Institute of Marine Geology, CGS, Qingdao 266071, Shandong, China)

摘 要 文章在分析水合物成矿地质背景的基础上，通过运用卫星热红外遥感方法和沉积物酸脱气方法，开展了东海冲绳海槽区水合物的地球化学找矿工作。结合前人的研究成果，发现有利的地质背景区，也是卫星热红外增温异常、浅表层沉积物烃类异常及其他间接标志的分布区。水合物可能的赋存区为冲绳海槽中南部海域。

关键词 冲绳海槽 水合物 卫星热红外遥感 烃类异常 成矿远景

天然气水合物（简称水合物）是由水和烃类气体在低温高压下形成的一种结晶状固体物质，被誉为“未来能源”或“21 世纪能源”。虽然水合物分解后可能造成海底滑坡等灾害事件或引起全球气候变化，但其能源意义已吸引了科学界的广泛关注。

目前普遍认为中国近海深水区蕴藏着丰富的天然气水合物资源。近几年，国内外一些科技工作者相继在南海开展了大量的调查研究工作，取得了一定的认识，但仍未得到钻探验证。然而，与之相比较，东海天然气水合物的调查研究工作还远未开始，迄今只作了一些探索性研究。近年来，作者在有关单位和同行的支持下获得了大量的海底沉积物样品，比较系统地开展了东海天然气水合物的地球化学找矿研究，并对水合物的分布范围进行了预测，希望能为下一步的水合物找矿工作提供参考意见。

1 成矿地质背景分析

冲绳海槽位于东海的东部，呈 NW-SW 向延伸，南北长约 1200 km，东西宽（南窄北宽）100~200 km，水深（北浅南深）200~2300 m，并向南东突出的弧形深水槽盆（图 1）。

1.1 地质构造与地貌特征

冲绳海槽的构造位置属于西太平洋沟、弧、盆系统的盆地构造区域，它是东海盆地东部的一个次级构造单元。冲绳海槽东侧是琉球隆褶区，西侧为钓鱼岛隆褶区。冲绳海槽可分为 3 个次级构造单元：西侧的陆架前缘拗陷、东侧的吐噶喇拗陷、海槽拗陷及龙王隆起。

冲绳海槽主要发育有近平行于槽轴的 NE 向和垂直槽轴的 NW 向两组断裂。其中部分 NE 向断裂切割较深，从海底向下切穿中新世地层，如位于钓鱼岛隆褶区东侧的前缘大断裂。这些深大断裂有利于深部气体和流体的上移，可为水合物的形成创造动力条件。

冲绳海槽由西向东可分为西侧槽坡（东海陆坡）、槽底平原和东侧槽坡（琉球岛坡）3 个一级地貌单元。西侧槽坡和东侧槽坡均具北缓南陡的特点。西侧槽坡宽度一般为 30~40 km，其中南部发育地垒式隆块、断

第一作者简介 卢振权，男，1972 年生，博士，从事天然气水合物等海底资源的勘探与开发研究工作。

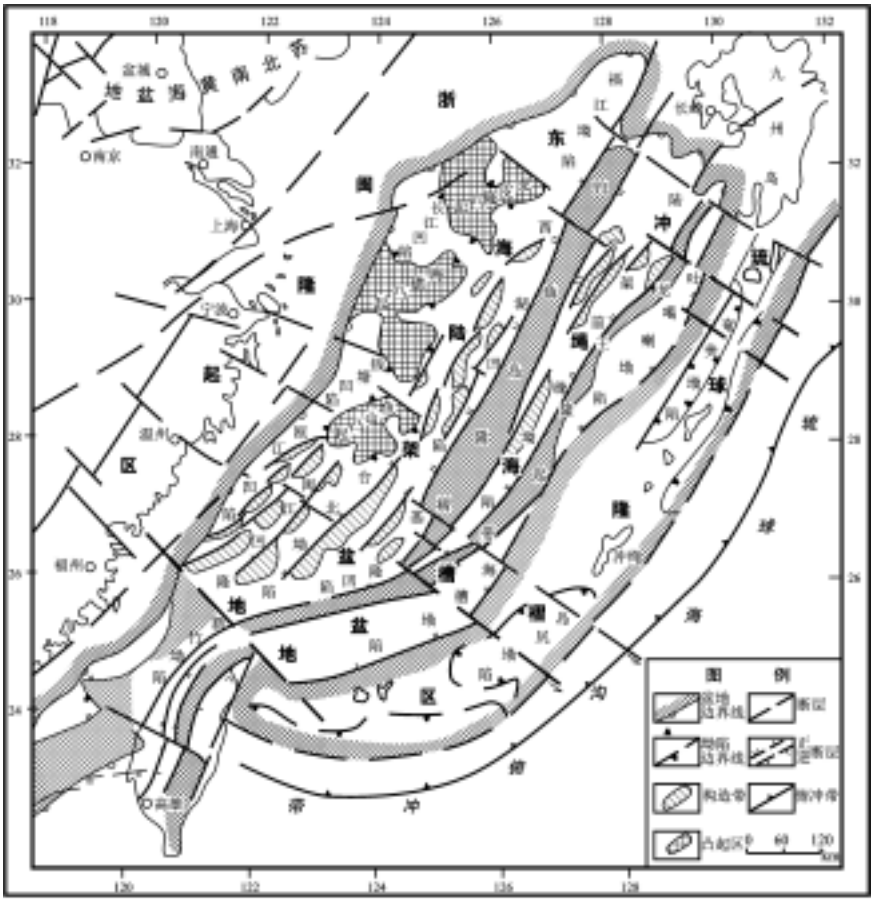


图 1　东海构造简图

裂谷、海山、断裂沟等地貌，地形起伏变化大；北部地形较简单。东侧槽坡南窄北宽，平均宽 64 km，沿着北东向断裂线分布一系列海山、海丘等。槽底平原北部地形崎岖，海山、海丘沿区内断裂排列，成群出现；南部地形相对平缓，海山、海丘较少；沿海槽轴部的中央部位发育有规模巨大的地堑槽和裂沟，贯穿海槽南北，是冲绳海槽拉张（或扩张）的中轴线（杨文达等，2001）。西侧槽坡的中南部和槽底平原的南部地貌条件有利于水合物的埋藏与保存。

1.2　沉积作用与沉积物特征

冲绳海槽盆地沉积地层主要为中新统、上新统和第四系，沉积厚度 1000~12000 m。该盆地西侧的陆架前缘拗陷发育中新统、上新统和第四系，厚度 5000~12000 m；东侧的海槽拗陷及吐噶喇拗陷，主要沉积层为第四系，局部残留上新统，厚度 2000~5000 m；龙王隆起有较薄的上新统和第四系，厚约 0~2000 m。前人对冲绳海槽沉积物的研究表明，西坡和槽底区，沉积物以泥质或砂质的陆源物质为主，向东陆源物质逐渐减少；火山源物质则由西向东、由南而北逐渐增多。在海槽南部水深大于 1000 m 的柱状岩心中还见有多层浊流沉积。冲绳海槽区浅表层沉积物中有机质平均含量为 1.9%，明显高于近海大陆架，而低于南海半深海沉积物中的有机质含量。

冲绳海槽自晚更新世以来的沉积速率，在大陆坡一带平均为 6.3 cm/ka；槽底沉积速率变化较大，北部平均为 5.8 cm/ka，中部一般为 4.4~6.11 cm/ka，西南部为 10~18.2 cm/ka；海槽断裂带（宫古岛）以东仅 4.9 cm/ka。西侧槽坡的沉积速率快、沉积厚度大、有机质含量高，从物源上讲该区最有利于水合物的形成。

1.3　热液活动与热流特征

冲绳海槽岩浆活动十分强烈和频繁，区内发育有众多的活火山和休眠火山。活火山主要分布于海槽的北部偏东一侧，形成连续的火山链；而休眠火山多分布在海槽中南部。区域性热流值高的地区多是岩浆活动频繁、构造运动与热液活动强烈的地区。这就使得该区整体上具有异常高的热流值，但分布不均匀。高热流值主要分布于海槽中段，即冲绳岛至宫古岛西侧一带的海域及海槽中段的中心裂谷带，而海槽南、北两段尚未发现热流值高的较大区域。热流值低的区域亦即是水合物易于保存的地方。

从上述分析中看出，西侧槽坡与槽底平原的中南部海域是水合物最有利的地质赋存区。

2　卫星热红外增温异常

笔者曾对卫星热红外遥感基本原理、增温异常机制及其与海底油气或水合物的关系进行过论述（卢振

权等，2002a)。最近，又对东海及其邻近海域的卫星热红外图像资料进行了研究，发现存在着一些异常现象（详细描述见作者有关报告)。

经详细观测与研究，多次发现东海在临震前、地震期间或其后出现大面积的卫星热红外图像增温异常。这些异常总是和临震或震后几天的构造运动密切联系着的，并且与区内主要构造线方向（NE 向）一致。台湾东部花莲一带的近海是经常出现海面增温高异常的地带，可能与花莲震中在地震前后的排气有关。冲绳海槽作为一个整体曾经出现全方位的增温异常（1992 年 4 月)，但较多的是在海槽中南部，特别是集中在西南部区域（即钓鱼岛附近海域)。中部的异常可能与伊是名、伊平屋一带的现代热液活动区有关。而海槽西南部或钓鱼岛附近海域一带的增温异常则可能与海底常规油气藏或水合物的存在有关。

3 浅表层沉积物烃类异常

沉积物烃类异常的探测，实质上与陆上常规油气化探中酸解烃相一致，只是我们在方法和认识上有一定的改进与提高。该方法以海底沉积物为调查研究的主要对象，但不是真正地研究沉积物本身，而是研究沉积物中所包裹和吸附的烃类气体（卢振权等，2002b)。

本次共采集了 90 个站位的浅表层沉积物样品，并进行了烃含量的分析。根据分析结果可将 CH_4 含量分为 4 个级别：＜100 μL/kg（区域背景值)，100~300 μL/kg（弱异常)，300~500 μL/kg（异常)，＞500 μL/kg（高异常)。若以北纬 27º30′为界划分南、北两个区，南部绝大多数样品(88%以上)CH_4 含量大于 100 μL/kg，即达到弱异常以上，其中大于 300 μL/kg 样品有 8 个，约占 20%；而北部 75%的样品低于 100 μL/kg，大于 100 μL/kg 的弱异常，仅有零星分布，没有发现超过 300 μL/kg 的样品。

南部海底沉积物 CH_4 含量＞300 μl/kg 的样品，主要分布在海槽拗陷的西南部、轴线以西的槽坡区，最高可达 606.7 μl/kg；而海槽轴以东 CH_4 含量仅有弱异常（100~300 μl/kg)。沉积物 CH_4 含量西高东低的分布趋势，在北部地区也有所表现。

可以看出，冲绳海槽海底沉积物 CH_4 含量异常分布区主要位于北纬 27º30′（即热液活动区）南海槽轴部断裂以西的槽坡或陆坡区；其中，钓鱼岛附近海域为异常值最高、分布最集中的地区。这些区域可能是天然气水合物或深水常规油气赋存的最有利地区。

4 冲绳海槽水合物成矿远景

上述卫星热红外增温异常和海底表层沉积物烃类异常与前人工作在许多方面吻合较好。

在冲绳海槽中部 JADE 热液活动区，侯增谦博士、日本科学家 Sakai 等乘坐深潜器至黑烟囱附近时观察到海底冒出气泡，当气泡与海水接触时（温度 3.8℃）立刻析出水合物。所采气样含 CO_2（86%)、CH_4＋H_2（11%）和 H_2S（3%)，显示该水合物富含 CO_2 气体。此外，侯增谦等（1998）还对 JADE 热液区海底下部排泄通道淀积的脉状-网脉状 Zn-Pb-Cu-Ba 矿石流体包裹体成分进行过研究，发现包裹体中 H_2O-CO_2-烃类组合最常见，CO_2＋烃类次之，H_2O-CO_2±CH_4 比较少见，在 CO_2 和 CH_4 最贫的流体中，CO_2 和 CH_4 也已达饱和状态。这些现象和事实说明包括 JADE 在内的冲绳海槽区具备形成水合物的潜力，并且在温度稍低的深水区可以形成甲烷为主的天然气水合物。

另外，冲绳海槽的一些区域还分布着可能与水合物有关的自生黄铁矿和碳酸盐结核等间接标志。据原地质矿产部海洋地质综合研究大队的调查，冲绳海槽的黄铁矿多呈鲕状集合体充填于生物介壳中，经电子探针分析证实为自生成因。此种自生黄铁矿的中高含量区集中分布在冲绳海槽轴部偏西的一侧，呈北东-南西向条带状展布，与有机质偏高的粉砂质泥岩、海槽中南部的沉积物烃类、底水甲烷异常的分布区基本一致。同时，他们在调查中还发现许多“生物碎屑灰岩团块”，其分布区域与自生黄铁矿一致；他们在报告中称其主要成分或基质由微晶碳酸盐组成，属成岩过程的化学沉积或次生沉积。笔者认为它们可能与海底天然气水合物或常规油气的后生变化有关。

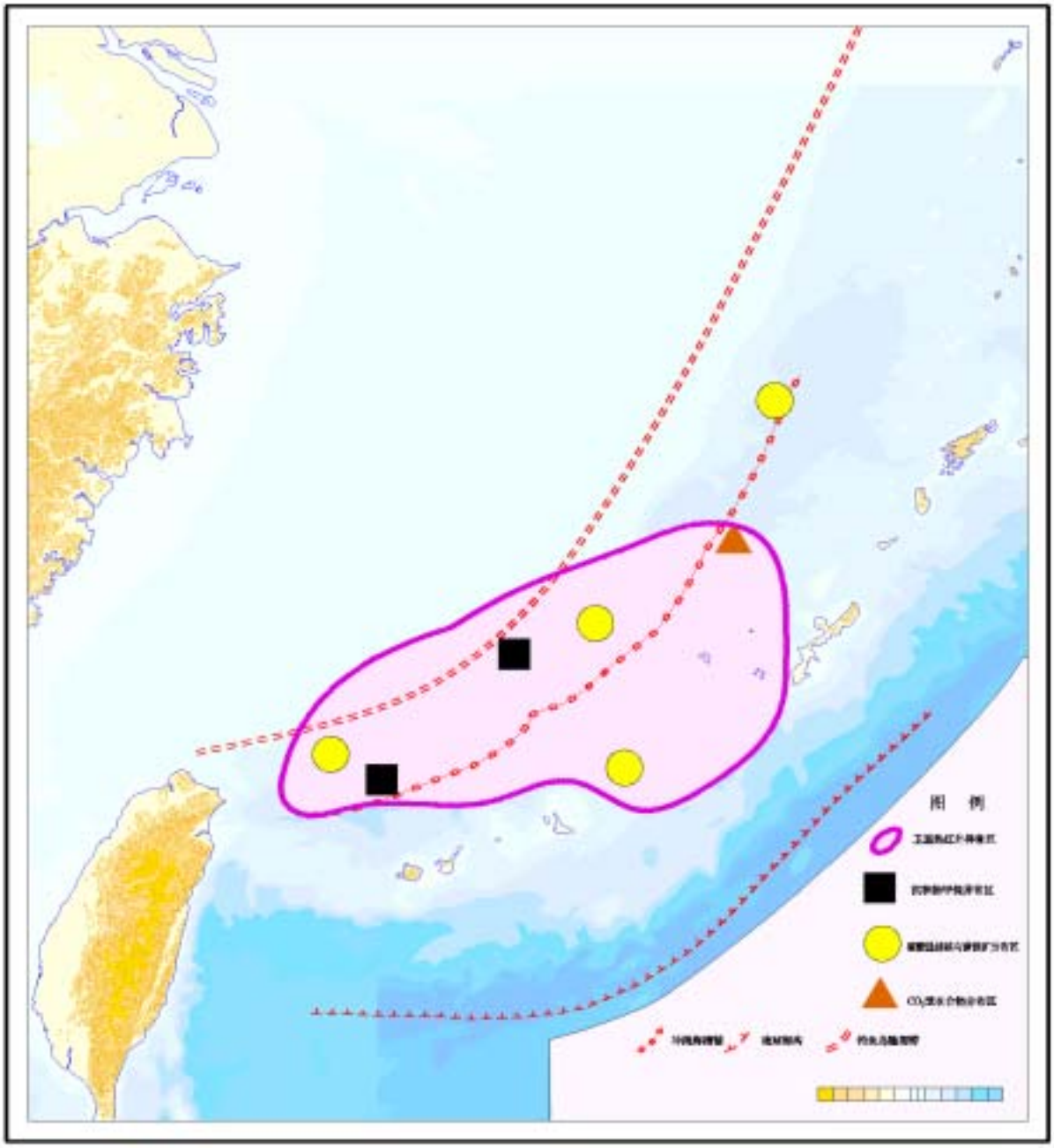


图 2　冲绳海槽水合物各种异常综合示意图

根据卫星热红外增温异常和海底浅表层沉积物烃类异常及其他各种异常标志可以预测，冲绳海槽区水合物最有利的分布区域为海槽西南部海域（见图 2）。

参　考　文　献

杨文达，王震宇，曾九岭. 2001. 冲绳海槽轴线地质特征.海洋地质与第四纪地质，21(2): 1~6.

卢振权，吴必豪，强祖基. 2002a. 利用卫星热红外遥感探测南海天然气水合物. 地质学报, 76(1): 100~106.

卢振权，吴必豪. 2002b. 海底水合物地球化学探测方法试验研究. 现代地质，待刊.

Sakai H, Gamo T, et al. 1990. Venting of carbon dioxide-rich fluid and hydrate formation in mid-Okinawa Trough back arc basin. Sci., 248:

侯增谦，张绮玲. 1998. 冲绳海槽现代活动热水区 CO_2-烃类流体：流体包裹体证据. 中国科学(D), 28(2): 142~148.