

# 天然气水合物形成的非常规盖层可能圈闭天然气藏(以美国东南海域为例)

朱岳年编译 杜建国审

海底浅埋沉积物中可以形成天然气水合物。这种天然气水合物与其周围的沉积物一起形成一种封闭性极好的非常规天然气盖层，它为大陆斜坡和陆隆区形成的天然气提供了良好的聚集条件。据美国地质调查局对地震剖面资料分析，在美国北卡罗来纳海和南卡罗来纳海域天然气水合物形成的非常规盖层发育颇好(图1)。

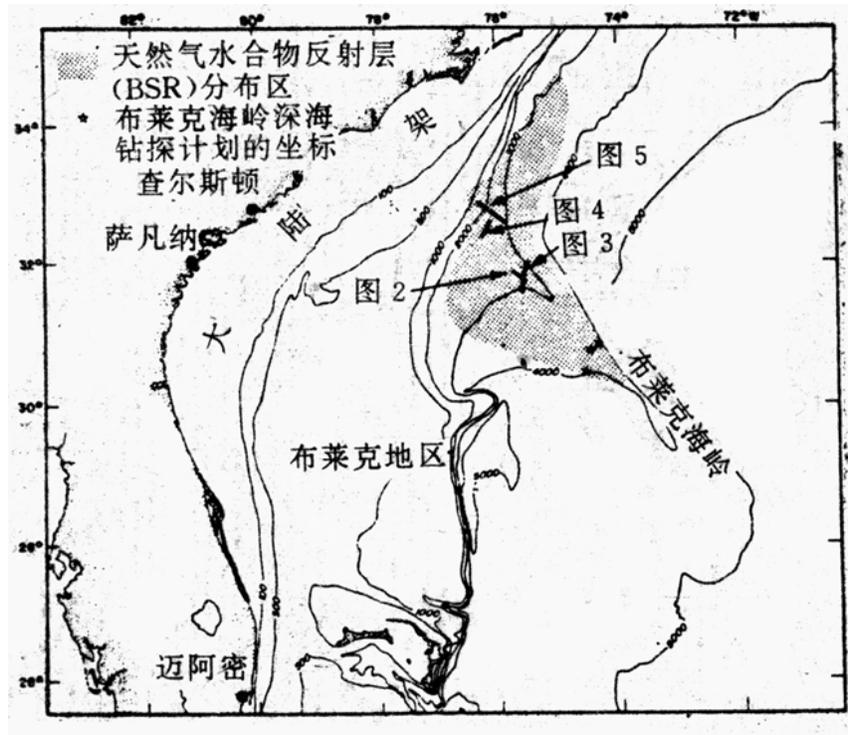


图1 美国东南海地震剖面示出的天然气水合物形成的盖层展布图

## 一、天然气水合物

天然气水合物是一种似冰状的晶体，由水分子格架包裹气体分子而形成。

关于天然气水合物的物理化学研究已较深入，且为人所知，其部分原因归咎于输气管道中往往生成这种物质而造成管道堵塞。

当地层中存在低温和中高压条件，且富集天然气时，则天然气水合物便可生成。具有这些条件的地区往往在几百米的水下海底(或温度极低的浅水海底)和永久冻土带之下的沉积物中。

实验室的研究和天然气水合物形成区开采天然气的试验都表明，沉积物中天然气水合物的生成会造成地层渗透率急剧下降。

## 二、海相沉积物中天然气水合物存在的证据

海洋沉积物中存在天然气水合物的最直接证据是有异常地震反射层，它在海底之下的反射时间约为1/2秒，并且与海底近于平行(分布于海底之下几百米处，图2)。

通常，人们把这种异常地震反射层叫作海底模拟反射层(BSR)，它位于沉积物中的天然气水合物的稳定带基底。BSR可能反映了天然气水合物胶结的沉积物，与其下伏的含水或可能含游离气的沉积物之间的接触界面。天然

气水合物的稳定区域边界代表的是一特定的压力和温度面。

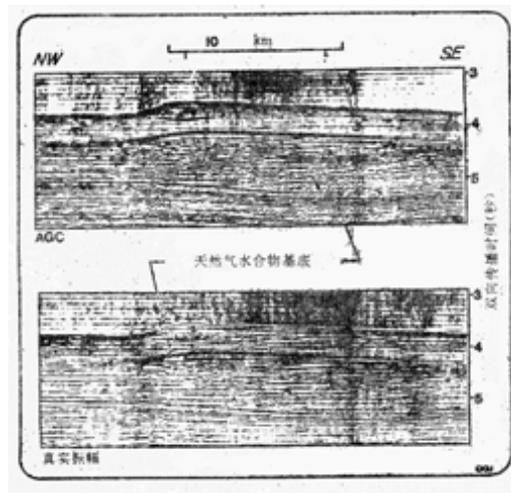


图2 地震异常反射图

虽然说深海中沉积物的压力变化不大，但是地温却变化很大。因为存在有地温梯度。一般来说，地温随深度增加而增大。所以，海底的不规则将造成等热面的不规则。这种不规则的等热面代表了不规则的天然气水合物稳定域。Shi pl ey等(1979)研究认为，BSR出现在海底之下一定的深度，这一深度代表着天然气水合物稳定的限定条件。由于沉积地层不一定平行于海底，所以BSR常与层面相交，并且很容易识别(图2)。

这种穿层现象经自动增益控制(AGC)处理后更清晰(AGC剖面——图2)。在这种处理过程中使所有反射面的振幅都变得近乎相等。

地震波速度结构倒转(快波速在慢波速之上)是存在天然气水合物胶结沉积物的又一证据。在地震测线BT1中，GSI接收器收集的地震速度结构分析表明，BSR之上的层带速度大于 $2.5\text{ km/s}$ ，而其下带的速度很低，可能还要低于水中的声速( $1.5\text{ km/s}$ )。

上述波速结构可以用间隙水中含游离气泡的层位之上存在有天然气水合物胶结层得以很好地解释。多项研究表明，地震速度小于水中的声速是由游离气存在引起的。沉积物中半公里以下部位产生这种慢波速的唯一可能是有游离气层存在。真实振幅剖面(图2)显示天然气水合物带的基底为一强烈的反射层。

由于地震反射波的振幅大小取决于声波速度(和地层密度)的变化，所以，上述如此大的反射振幅必定反映了天然气水合物胶结层和含游离气的未胶结层之间的界面。由于天然气水合物起着自生胶结物的作用，所以在BSR之上的胶结地层其反射一般要比BSR之下的地层的反射弱(图2和3)。

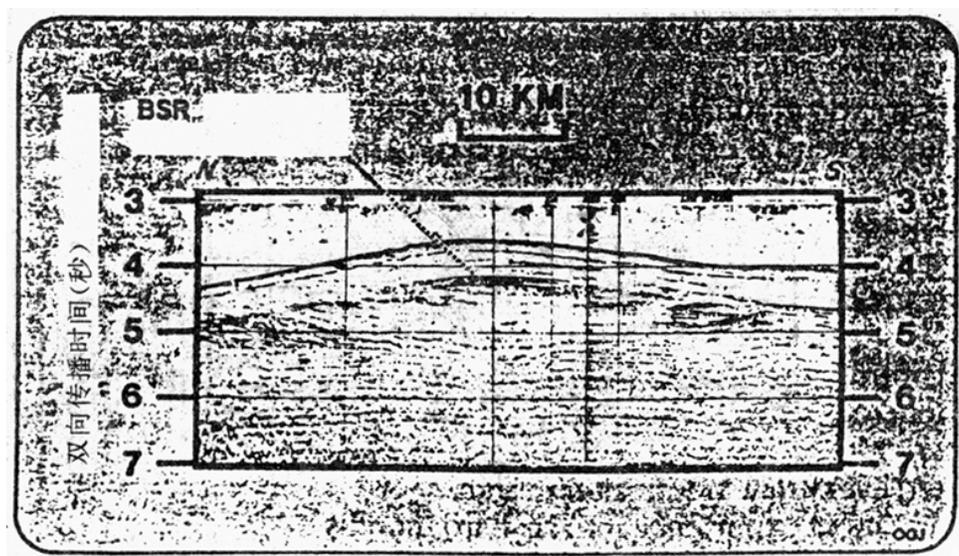


图3 地震反射图

在地震剖面中，观察到的BSR曾被解释为自生含铁碳酸盐矿物薄层的特殊反射。在布莱克海岭钻井中遇到过这

种薄层(Hollister, Ewing and others, 1972)。然而, Dillon 等(1980)在分析地震剖面反射波速度时, 则认为如果存在一个厚的高速层, 那么就不能用上述方式加以解释。

BSR与天然气水合物层之间有关的证据首先是在布莱克海岭进行的深海钻探计划 (DSDP)航测线 II (图" 上发现的, BSR上部沉积物岩芯释出了大量的甲烷(Ewing and Hollister, 1972; Claypoll and Kaplan, 1974)。当海底沉积物中的天然气水合物置于地面温度和压力条件下, 可以预见会释出大量的天然气。因为天然气水合物是气体聚集物, 其含有的气量比同体积水在气饱和条件下溶解的气量要好几个数量级。

1979年在墨西哥湾西海域进行的DSDP, 中, 戈洛马尔挑战者号航测船在66号测量线上发现了天然气水合物胶结的沉积物(Moore, Watkins et al. 1979)。同时在67号测量线上, 以Rol and von Heune为首席科学家的科研组也发现了天然气水合物胶结的沉积物。66号测量线上所采的样品在分解前运到甲板, 检出了冰状固态天然气水合物, 并测定了分解生成的天然气体积。测定结果表明, 由固态天然气水合物释出的天然气体积是饱和状态下同体积水中溶解天然气体积的5倍多。由此说明, 天然气水合物中聚集有大量的天然气, 并且是以气水合物的形式存在的。

### 三、美国东南海作为盖层的天然气水合物层

天然气水合物盖层可以形成一种圈闭。天然气水合物胶结层的基底向上拱起形成穹隆, 或在含气层顶部由天然气水合物层形成封闭。

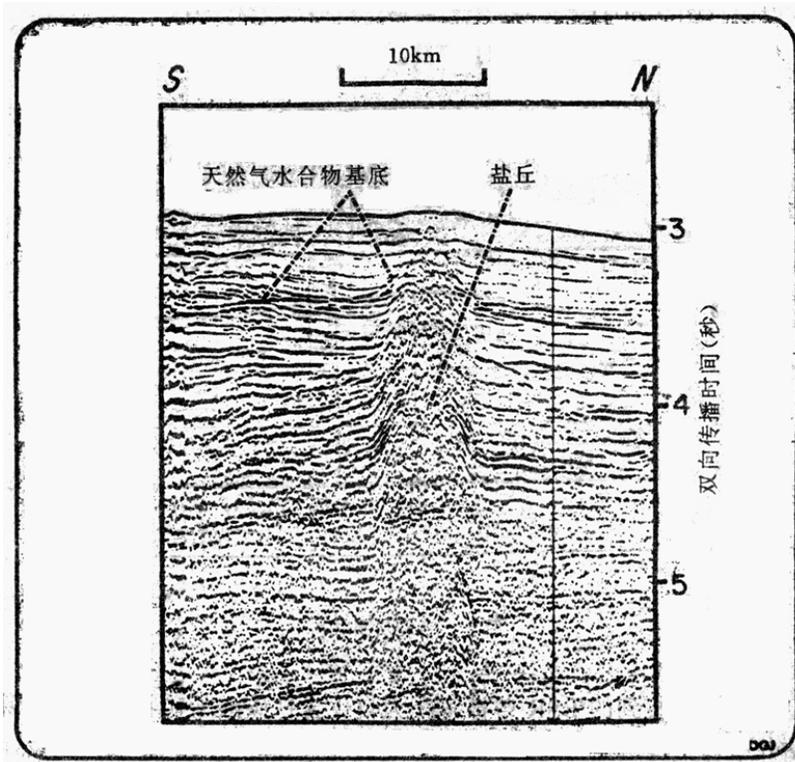


图4 盐丘顶部天然气水合物形成穹隆

穹隆形成于海底有独立山丘的地区。由于天然气水合物胶结层的基底为一等热面, 并且底部等热面几乎平行于海底, 所以海底山丘内天然气水合物层就形成了一个穹隆(图2 和3)。图2示出的是北卡罗来纳海域大致沿布莱克海岭轴线的地震剖面图。这个海岭轴线沿大陆斜坡的斜对角线方向延伸, 并有特别明显的BSR显示, 可能反映了天然气水合物的存在。图3示出的是图2剖面右侧位置穿越该海岭的横剖面。

BSR在布莱克海岭轴部之下发育很好。图2的右侧反射较弱, 这是由于该剖面偏离了海岭轴线造成的。尽管图1中清楚辨认出的BSR带近100km宽, 但是图3中却示出该地区存在的BSR仅14km宽。

天然气水合物胶结层的基底穹隆构造同样也可由局部热导性变化形成的高热流引起。盐丘构造常常分布于北卡罗来纳大陆斜坡之下, 由于盐的导热性较大, 所以盐丘可以形成局部热点。图4示出的是一个盐丘顶部天然气水合物形成穹隆的实例。

圈闭也可在地层内形成, 即除底部外, 上面和侧面均由天然气水合物胶结层所封堵。图5示出的就是这种情况, 那里的地层向大陆方向倾斜, 与隆起基底面斜交, 并由底部的天然气水合物胶结层所封盖。

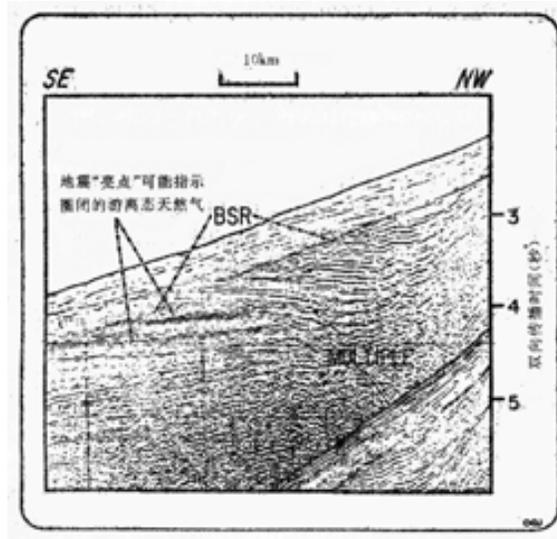


图5 地震剖面上显示的亮点

尽管地层好像是向海方向倾斜，但是实际上是向陆(右)方向斜倾的。表现出这种向海倾斜的假象是由向海方向低速的水层厚度增大而声波传播时间增长造成的。紧靠BSR的亮点沿某些地层分布，可能是圈闭游离态天然气的反映。

#### 四、海相沉积物中天然气水合物的一些研究实例

对海相沉积物中天然气水合物的最早深入研究是对深海钻探计划(DSDP)11号测量线上所获资料的研究。

本世纪70年代后期，在DSDP的66号航测线上所取的钻井岩芯中发现了固态的天然水合物(Moore Watkins and others, 1979)。由Kapl a(1974)主编出版的天然气水合物文集是该时期的最佳研究文集，尤以Claypool 和Stoll 等人的论文最为出色，这部文集中也收集了Hand等、Hi tchonl 和Mi ller研究天然气水合物的论文。

Mi lton(1976)也对海底天然气水合物作过评论， Stoll 等(1971)和Whi te(1977)报导过天然气水合物对地震层速度的影响。美国东海地震剖面揭示的天然气水合物的分布由Tuchol ke等(1979)评述过。同样，这些科学家认为天然气水合物胶结层具有如Hedberg(1979)和Whi te(1979)提出的特征——能圈闭天然气。80年代初，Shi pl ey等的关于在地震剖面中观察天然气水合物的文章亦相继发表。

#### 五、天然气水合物的未来

已证实天然气水合物胶结层具有强的封闭性。在水深几百米至几千米的海底海相沉积物中能形成这种天然气的圈闭。如果这种圈闭存在，则只分布在海底浅层(<500m) 中。然而，要钻穿天然气水合物胶结层，封闭套管周围可能需要新工程技术。

勘探海洋中的天然气水合物圈闭应首先在布莱克海岭地区进行，因为天然气水合物在这里发育颇好，该地区在美国，并靠近美国港口和市场。

来源：史斗，孙成权，朱岳年编. 国外天然气水合物研究进展. 兰州：兰州大学出版社，1992. 65~71.

[返回](#)