

# 加拿大东海岸存在天然气水合物的证据:BSR

David C Mosher

天然气水合物被认为是世界上各沉积盆地中大量聚集在一起的甲烷。人们普遍认为,似海底反射(BSR)与天然气水合物之间具有依存关系。但根据钻井资料,没有BSR分布的地区,同样也发现有天然气水合物的存在,且钻遇到了天然气水合物;而有BSR的地区,却可能发现不了天然气水合物。似乎BSR与天然气水合物的关系显得有些模糊不清。但30多年的研究表明,BSR仍然是指示天然气水合物存在的最有效的方法。最近在加拿大召开的第六届国际水合物会议上就有学者发表文章,通过论述加拿大大西洋边缘地区BSR的分布特征,预测该区天然气水合物存在的可能性。

在加拿大,北部广泛的多年冻土和大面积的近海地区具有存在大量水合物的潜力。沿Cascadia边缘地区、温哥华岛近海地区被认为存在水合物,最初在地震反射剖面上识别出BSR,随后在大洋钻探计划(ODP)的采样中得到了水合物。在加拿大陆上马更些三角洲地区多次被识别出水合物。在Cascadia地区天然气水合物通过钻探、取心,甚至拖网捕鱼时都曾被发现过。因此作者估计在加拿大有高达 $10^{12} \sim 10^{14} \text{ m}^3$ 的甲烷气存在于水合物之中。

虽然在加拿大西海岸和北部地区发现了水合物,其存在也已经被推测,计算的稳定带也具有显著的大小,但是能证明加拿大东海岸边缘地区存在水合物的物理证据从未公开发表过,地理物理证据也几乎没有。因此作者试图通过指明加拿大大西洋边缘区BSR的分布,证明天

然气水合物存在的可能性。石油开采地带水合物存在的可能性对深层油气的开采具有重要意义,可能表明在开发碳氢化合物时会存在危险,也可能显示出一个活跃的油气生成系统。因此作者认为将来水合物也可能代表一种重要的碳氢化合物资源。另外,全球性的甲烷水合物的证实对碳循环和气候变化的调查具有重要的暗示作用。

由于BSR的成像高度依赖于地震系统的频率和稳定窗口与固有地层的接触关系。因此将各种地震反射成像系统应用于加拿大东海岸的大陆边缘,为确定BSRs,还对超过45 000 km的二维地震反射数据进行了处理。

通常来讲,工业数据的获得多运用约 $6\,500 \sim 7\,900 \text{ in}^3$ 的气枪阵列,数据采样间距为2~4 ms,所采用的频率介于5到100 Hz,中心频率为30~50 Hz。此研究所使用的三维地震勘探反射资料位于Scotian斜坡中心的Torbrook区块,由Vessel Geco Prakla for EnCana Energy公司2000年6—8月提供,三维数据体间距为 $12.5 \times 12.5 \text{ m}$ 。随后运用了解释软件,包括GeoFrame、GeoQuest与英国系列的SMT对二维及三维地震资料进行处理和解释。二维高分辨率单道地震反射数据是加拿大一大西洋地质调查局对加拿大东海岸边缘地区的非系统研究获得的。这些数据的获得运用了较小规模的气枪阵列和介于30和250 Hz的大跨度频率。

经过分析,得到如下的结论:

在低速区下方存在游离气体,且天然气水

合物的厚度与地震系统的频率相匹配的情况下,BSRs 地震成像才是成功的。如果低速区厚度太大且地震频率太高,那么该区带将不会作为一个单一反转相位反射,而是有若干亮点反射的更复杂的东西。这种作用使人们难以识别 BSRs。如果低速区太薄或者地震频率太低,那么相位反转的问题就得不到解决。因此,为研究 BSRs 存在的可能性,同时使用高分辨率和低分辨率的地震数据。通常情况下,由于 BSRs 的低频谱和长源-接收可以抵销,BSRs 在油气勘探领域的地震系统中最容易被识别,如果 BSRs 传到不同于这些地层的其他反射层,BSRs 最容易被观察到。三维数据在这方面是最有用的,因为地震数据可以描述任意方向从而优化表面钻井。通过对有效的公开数据和大量的网格化现代工业地震数据的调查研究,结合作者获得的新的地震数据,在纽芬兰和 Nova Scotia 边缘地区识别出五个清晰的可分辨的 BSRs 区域(图 1):①北纽芬兰边缘的 Orphan 陡崖;②东纽芬兰边缘 Flemish 隘口的 Sackville 陡崖;③一块南纽芬兰边缘接近 Haddock 海峡的区域;④一块 Mohican 海峡以东 Scotian 斜坡中央的区域;⑤在 Scotian 西南斜坡一个被称为 Barrington 区块的区域。

## 1 Orphan 陡崖

2005 年和 2006 年加拿大地质调查局在对

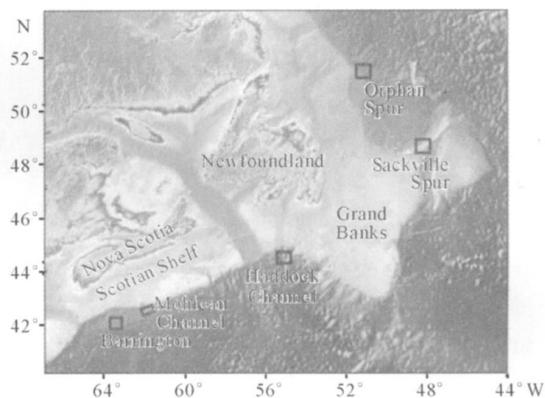


图 1 加拿大东海岸大陆边缘的区域地形图,显示出该区已查明的 BSR(方框)

Orphan 陡崖勘察测量过程中识别出 1 个 BSR。北纽芬兰边缘地带的一个大型浅滩沉积形成的高角度沉积楔,即是 Orphan 盆地的北缘。从这些高分辨率地震资料中看出(图 2),BSR 作为一系列不规则的高振幅反射体出现,这些反射体位于海底以下约 350 ms 的海底斜坡。这些亮点反射体在水深范围从 900 到 1 200 m 处被识别出来,穿越相对较平坦的地层序列的陡崖。这一特点与 McConnell 和 Kendall 所描述的墨西哥湾的 BSR 是类似。在此区域,地震覆盖的面积是有限的,但是 BSR 的数据映射区面积却有约 370 km<sup>2</sup>。

## 2 Flemish Pass/Sackville 陡崖

Sackville 陡崖下面的 BSRs 与 Orphan 陡

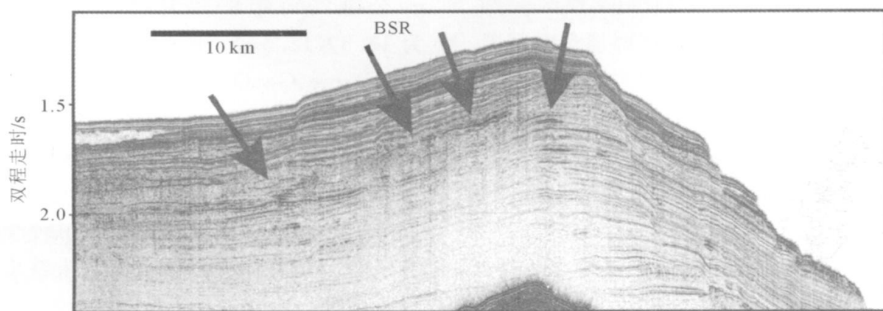


图 2 纽芬兰南部边缘地区 Orphan 陡崖的 BSR

崖的 BSRs 类似, 根据低频的工业数据, 它不是一个传统的相位反转的反射体, 作为一系列亮点(高振幅)反射体, 这些反射体在同等深度变得黯淡(图 3)。这些高振幅的黯淡深度位于海底以下 320~360 ms 处, 水深介于 1 000~1 350 m。从图上来看, 这些亮点振幅面积至少有 156 km<sup>2</sup>。

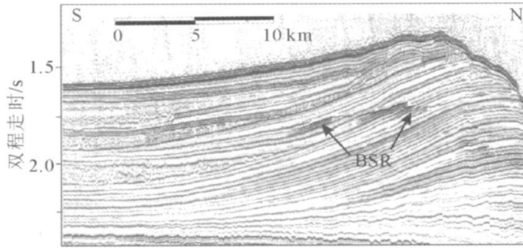


图 3 纽芬兰 Flemish 海峡地区 Sackville 陡崖内部的一个 BSR

### 3 Haddock 海峡

BSR 从 St. Pierre 斜坡东侧 Laurentian 海峡的区域二维数据体中被识别出来(图 1 和图 4), 并随之成像于高分辨率地震系统。很明显, BSR 显示了约 82 km<sup>2</sup> 的面积, 出现在海底 450 和 500 ms 以下, 水深 1 700 m 和 2 150 m 之间。在该站点常规的下降斜坡所延伸的反转断层处浅滩沉积体具有明显的断裂, 其中一些断层清晰的穿过 BSR。在上升斜坡上, BSR 终止在一个有巨大(4 km 直径)旋转断块边界的断层。

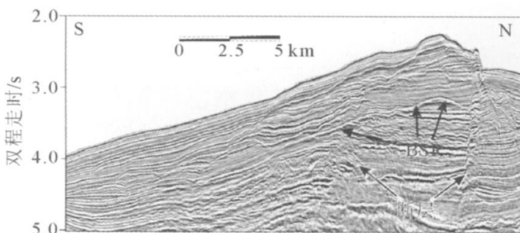


图 4 南纽芬兰边缘 Haddock 海峡地区的 BSR

### 4 Mohican 海峡的 BSR

Mohican 海峡的 BSR 在二维和三维多道地震勘探反射数据中非常明显, 尽管高分辨率的单道反射剖面不是很明显(图 5), 但也还是可见的。该 BSR 出现在海底以下 400 和 450 ms 处, 水深范围为 1 500 m 至 1 930 m。位于 500 ms 处的次要 BSR 也是显见的。BSR 波形特征是根据反射数据得到的, 采用约 20~30 Hz 的频率, 而这些数据一般在 5 和 70 Hz 频带之间。对于高分辨率的剖面, BSR 具有峰值频率为 75 Hz 的特点, 而相应的数据在 35~150 Hz 频带之间。事实上在 Mohican 海峡站点具有双重 BSR, 次要 BSR 在主要 BSR 之下(图 5)。

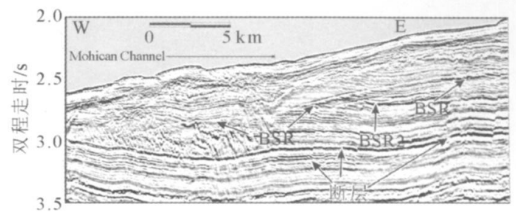


图 5 Mohican 海峡地区 Scotian 中央斜坡的 BSR (注意第一个 BSR 及一系列密集断层下面的第二个规模较小的 BSR)

### 5 Barrington 的 BSR

BSR 在三维地震勘探体南部的 Scotian 边缘地区是很明显的, 就是众所周知的 Barrington 区块。在这个站点, BSR 位于水深从 2 220 m~2 890 m、海底 500 和 600 ms 以下。从二维地震数据网格上, 保守估计该区的 BSR 面积为 830 km<sup>2</sup>, 因此, 它是迄今为止已确定的沿东海岸边缘最大的区域, 并且是在最深水区。该地区的地质情况是众多大规模流体沉积形成复杂地层, BSR 出现在一个沉积物波的地层区间之内(图 6)。

通过几个区域 BSR 特点的分析, 得到如下几点认识:

(1) 加拿大的大陆边缘蕴藏着贮存烃类气体(主要是甲烷)形成天然气水合物的巨大潜力。沿 Scotian 和纽芬兰边缘,理论上天然气水合物稳定区达  $635\,000\text{ km}^2$ 。根据  $45\,000\text{ km}$  工业测线的考察及对加拿大地质调查局沿这条边缘获取的二维地震反射数据的研究识别出 5 个含 BSR 的地区,总计约  $1\,720\text{ km}^2$ 。这些 BSR 作为高振幅反转相位和亮点反射被清晰标识出来。所有这些亮点振幅和反转相位的原因是游离气被困于水合物层。这些结果与以理论上甲烷水合物稳定带为基础的计算相符,能够证明在这些地区存在天然气水合物。

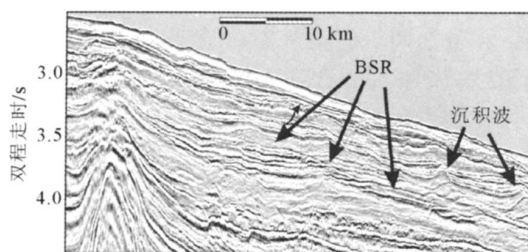


图 6 Scotian 西南斜坡 Barrington 站点的 BSR 的地震剖面(注意沉积波的存在)

(2) 除了适当的温度和压力条件,水合物的形成需要烃类气体资源、俘获机制以及圈闭,也需要有天然气从生成地到稳定带圈闭的运移通道。这些标准与任何含油气系统类似。每一个 BSR 在加拿大东海岸边缘的特定勘探(尽管还

未有产出)领域得到证实,证明含油气系统产生的烃类气体是水合物来源的可能性。此外,已鉴定的有关地区表明砂体发育的地质环境是非常可能的,无论是沙滩砂、水流砂,或河道和堤岸沉积的砂体。砂体可能提供水合物形成的孔隙空间和天然气运移所需的渗透性能。就 Morican 海峡的 BSR 而言,三维地震体的存在与河道和堤岸的关系已经得到证明。从这个地震体也可以找出一个复杂的断层和纵向烟卤的系统,提供天然气从其生成地到水合物稳定带的通道。

(3) 为产生 BSR,游离气体必须位于水合物下方。水合物本身作为一个塞子,以捕集下方的天然气。气层必须达到足够的厚度地震系统才能分辨出来。已经证明有水合物的地区不一定存在 BSR。本次研究中东海岸边缘地区并非所有 BSR 已经确定了,但非常明显的是体现 BSR 的面积之和与总面积相比占很小比例( $1\,720\text{ km}^2$ 对  $635\,000\text{ km}^2$ )。该面积的不一致性是水合物勘探的一个根本性问题。如果我们一定要依赖确定 BSR 来定位水合物,那么天然气水合物在作为理论预测模型的被动大陆边缘带不是普遍存在的,或者还是需要新勘探技术来确定其存在性。

梁 杰 编译自《Proceedings of  
ICGH 2008》