

文章编号: 1001- 6112(2009)01- 0050- 04

天然气水合物与油气藏形成

——兼谈我国古老地台区的油气勘探

支家生

(中国石油集团 杭州地质研究院, 杭州 310023)

摘要: 大洋(地槽) 区回返造山之前在水合物稳定带封盖下的游离气——由生物甲烷及热解烃类组成, 当地壳抬升、温压变化时向地形上倾方向迁移, 途经多孔隙储集体时可能被捕集成藏。台西南海域的大量天然气水合物被证实是形成台湾南部众多泥火山、气苗以及油气藏的来源。由此推断造山带中的过成熟烃源岩也曾向地台区(后来的克拉通盆地) 提供烃源, 也因此可解释中东“油极”的形成以及如四川盆地的天然气储量与盆地内已知烃源岩生烃量不匹配的难题。

关键词: 天然气水合物; 海相沉积; 油气藏; 油气远景

中图分类号: TE122. 3

文献标识码: A

HYDROCARBON ACCUMULATIONS SOURCED FROM GAS HYDRATE —AN IMPLICATION TO PETROLEUM EXPLORATION IN PALEOPLATFORMS

Zhi Jiasheng

(Hanzhou Research Institute of Petroleum Geology, PetroChina, Hanzhou, Zhejiang 310023, China)

Abstract: The free gas, formed by biogenic methane and pyrolysis hydrocarbon, was sealed under gas hydrate stable zone in the ocean (geosyncline) before orogenic movement. It was migrated upward with crustal uplift and thermopressure change, and could be accumulated passing through reservoirs. It was proved that the various macerals, gas seepage and hydrocarbon reservoirs were formed by gas hydrate in southwestern Taiwan sea area. Therefore, it might be inferred that the overmatured source rocks in orogenic belt provided hydrocarbon to the platform area (late cratonic basin), which could explain the formation of "oil pole" in Middle East and solve the problem of mismatch of gas reserve with hydrocarbon generation amount of source rocks in the Sichuan Basin.

Key words: gas hydrate; marine sediments; hydrocarbon reservoir; oil and gas prospectives

1 问题的提出

业已查明在水深 500~ 3 000 m 的海床中存在天然气水合物, 且资源量巨大^[1]; 按照地质学惯用的“将今论古法”可以推论, 在地质历史上的海洋中同样存在这种水合物; 海洋中的水合物主要赋存在深海槽及其两侧地区(后来的造山带和山前拗陷), 随着地壳构造变动水合物释放的气或散失或迁移; 世界上已知大油气区的形成与来自古地槽区的油气源有关, 例如中东油气区与扎格罗斯山, 俄罗斯油气区与乌拉尔山等关系密切, 这既说明有机生油是可信的, 还说明远距离侧向运移是存在的。而四川盆地天然气的重要来源也可能与秦岭、大巴山、龙门山

在地质历史上曾经有过的天然气水合物相关。

海洋中的天然气水合物主要分布在活动(板块汇聚) 的或稳定(被动) 的大陆边缘, 加积楔顶端、陆坡盆地、弧前盆地、陆坡海山等处, 尤以俯冲带增生楔区和陆隆台地断褶区最为发育^[2]。

据金庆焕等的记述, 汇聚大陆边缘及增生楔是水合物大规模发育的有利区域。在板块俯冲运动中, 新生且富含有机质的大洋沉积由于俯冲板块的构造底侵作用而被刮落到增生楔内、不断聚积于变形前缘。俯冲带附近沉积物不断加厚; 同时由于构造挤压作用导致沉积物脱水脱气, 且形成叠瓦状逆冲断层, 孔隙流体携带深部甲烷气沿断层向上快速排出, 为水合物的形成提供了充足的物质基础, 在

收稿日期: 2008- 09- 12; 修订日期: 2008- 12- 23。

作者简介: 支家生(1935—), 男, 高级地质师, 主要从事石油地质研究工作。E-mail: jinsa_hz@petrochina.com.cn

适宜的温压条件下聚集成水合物矿藏。同时有部分甲烷气体向上逸出而形成海底碳酸盐结壳。构造隆升导致水合物稳定带底部压力降低,水合物分解,形成游离气聚集^[2](笔者认为,此处的游离气应有深部来的天然气成分,而稳定带具有封隔作用,有利于这些气体向台地方向迁移)。现今世界上的绝大多数增生楔中已经发现了这种水合物。

在被动大陆边缘,以伸展运动为主,由于存在巨厚的富含有机质的沉积层及高压流体、陆缘外侧的火山活动及张裂作用,可形成成岩型、构造型、复合型水合物成矿模式,在“相对渗透层”中、在断裂—褶皱构造中、在底辟构造或泥火山以及滑塌构造中富集成矿。已在世界上多处海台、盆地、海槽、洋脊、滑塌构造中发现了水合物成矿实例^[2,3]。

深海槽区沉积的黑色淤泥,有机质丰富,有利于烃类形成,其中的生物甲烷气应该是深海槽区形成水合物的重要气源,其他气源还有来自地下深处从“黑烟囱”上来的甲烷或早先形成的气藏与游离气。从洋底“黑烟囱”喷出的甲烷气温度高、释放热量速度快,因此较之一般海底淤泥中的生物甲烷更易形成水合物(可燃冰)。已有勘探实验证明可燃冰矿床易于在洋底靠近“黑烟囱”的地方找到。这种水合物与黑色淤泥共生,在后来的埋藏成岩经历中曾经释放而发生初次运移。地质年代中的深海槽及其两侧,在地质构造上,经过回返褶皱就是后来的造山带及其两侧的山前坳陷,其分布范围大且有规律可循。含天然气水合物的黑色淤泥在成岩以后、在漫长的地质变动中释出的天然气发生垂向和侧向运移,向地台(块)区和较新层位中的储集空间(灰岩、砂岩储集岩、储集体)迁移,为地台(块)区提供了大量气源,并聚集成藏。

已有研究认为,四川盆地海相中一古生界含气系统的主要源岩,在川中、川西南为下寒武统筇竹寺组(厚度100~420 m),在川东、川南为下志留统龙马溪组(厚度小于100 m)及下二叠统梁山组(厚度10~20 m),在川西为上三叠统须家河组^[4]。但依这些源岩的厚度与分布来看,它们难以提供四川盆地巨大的天然气储量(达数万亿立方米)。诚然,四川盆地的天然气气源可以是多层、多期、多形态的(包括油裂解气、水溶气、煤成气、幔源气等),但如能考虑到秦岭、龙门山在上扬子地块北缘、西缘的大陆边缘深水槽区,它们在回返造山过程中由天然气水合物分解可能提供了大量气源,则四川盆地巨大天然气储量的气源问题可以得到较好的解释。在四川盆地震旦系、志留系、石炭系、二叠系—三叠

系储集岩中保存的气藏,其主要气源很可能有一大部分是来自周边的褶皱造山带和山前坳陷。但是古今海洋沉积中水合物气究竟怎样形成油气藏呢?

2 台西南的新发现

我国台湾地区刊物《地质》2005年第4期报道^[5],在台西南海域的甲烷含量高异常测点附近、水深1 000~1 200 m的海床,拍摄到暗黑色淤泥沉积、与海底冷泉有关的碳酸盐壳以及嗜硫性贝类的壳堆等,这是存在天然气水合物的间接证据。该刊2006年进一步报道,证实台西南海域确实蕴藏有丰富的天然气水合物^[6~8]。初步估算,约10 000 km²调查面积内有约5 000×10⁸ m³以上天然气(以甲烷为主),以天然气水合物的形态赋存在海床下厚约600 m的沉积物中。

邻接台西南海域的高雄、台南、嘉义一带有众多的泥火山、气苗^[9],在历史上早有记载。清康熙元年(1662年)黄叔璥《台湾使槎录》、康熙二十三年(1684年)高拱乾纂修《台湾府志》以及后来的陈梦林、李钦文纂《诸罗县志》(诸罗县今为嘉义县),陈文达、李钦文纂《凤山县志》,季麒光《台湾杂记》记如玉案山后山(即关子岭枕头山)、赤山、大滚水山、小滚水山、螺底山、摆接石壁寮、深水、乌山头、射麻里、恒春等等泥火山口“或为小窍,径二尺许(如凤山县—今高雄县小滚水山)”、“或为大裂缝,长八丈阔四丈(如凤山县赤山裂)”。“涌出黑泥、黑泥水或水带浊泥,或涌出碇索,水味咸。泥火山口深不见底,相传其下通海”。“火出水中,有焰无烟,焰高二、三尺至丈余,热气炙人,硫气甚恶,自燃者数日不熄,或递年出火”。而且这一带已发现有六重溪、牛山新营、竹头崎、冻子脚、八掌溪等气田,其中的官田气田为典型的生物甲烷气;在台西南海域的构造凸起带则有致胜、致昌、建丰甲烷气田(图1)。

基于天然气水合物的似海底反射面(BSR, Bottom Simulating Reflector)稳定带之下有游离气存在,而游离气随着地壳的缓慢变动可向压力降低、温度升高的方向迁移,并在相对高渗透率和具有封闭盖层的地区聚集成藏,或等待第二次的迁移。所以高雄、台南、嘉义一带众多的泥火山和气田可能与台西南海域丰富的天然气水合物相关,即泥火山是为水合物气的释放口,而气田是其聚集场所。其直接依据是:

台西南海域沉积物属于地体碰撞与挤压的增生楔类型,其水合物气依碳同位素比值显示以生物来源的甲烷气为主(甲烷约占97%),有些样品混有

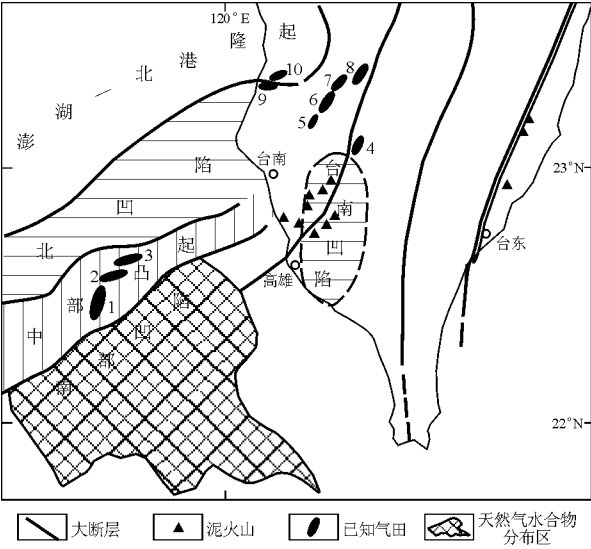


图 1 台湾南部泥火山与台西南深海天然气水合物分布
油气田名称: 1. 建丰; 2. 致昌; 3. 致胜; 4. 竹头崎; 5. 官田;
6. 牛山; 7. 六重溪; 8. 冻子脚; 9. 新营; 10. 八掌溪
Fig. 1 The site of maccalubers in South Taiwan
and gas hydrate in south western Taiwan deep sea

热分解来源, 但无深源岩浆气成分。其邻近陆上的泥火山气成分以甲烷占 96% ~ 99%, 低氦同位素比值, 以及碳同位素比值均显示来源于陆壳沉积物的热分解作用 (含热分解来源为主的甲烷和乙烷); 唯关仔岭、中仑以及台东罗山、电光等泥火山所见二氧化碳含量显著, 且氦同位素比值较高, 含量较高以及氮成份较高, 似与岩浆源影响以及与空气混入、生物污染有关, 且其成份在地震前后的变化明显。因此认为, 总体上台西南海域的水合物气与邻近的台南陆上泥火山气和气田气近似, 只是热经历不同或含有深部的热分解气; 而与台东的泥火山气受岩浆源影响, 差别明显。在台东大纵谷, 我们知道自花莲至台东分布的多处泥火山和气苗, 如都銮、罗山、电光、池上、富里兰坪、安迪唠湾溪、瑞源附近等地, 每当地震发生溢喷尤甚。这一带所见地层为中新统海相黑色页岩, 其下为凝灰质砂岩、火山集块岩, 且大都出露。因为既无封盖层又无储集层, 故不足以形成气藏。这一带泥火山、气苗的出现推断为沿纵谷大断层 (菲律宾海板块向大陆板块俯冲所导致的吕宋火山岛弧与陆板块碰撞所形成的拼贴面) 向上逸出的水合物气和幔源气。

上述分析表明, 台西南深海的水合物天然气在合适条件下释放并向邻近的构造——地貌高区迁移, 甚至聚集成藏。

3 天然气水合物与油气藏

我们解释水合物气形成油气藏的作用机理是:

在深海中由生物分解的甲烷气和沿“黑烟囱”深海热液喷口上升的甲烷、硫化氢等气体与水分子螯合而为水合物, 水合物随着温压条件改变在稳定带之下产生游离气在淤泥的微孔隙中渗流迁移; 水合物似海底反射面 (BSR) 之下的稳定带对于游离气有封存作用, 而在漫长的地质历史中随着温压变化以及粘土催化、生物酶作用下发生烃类的缩合和重组, 烃类气向温压降低方向的迁移过程中凝析为油滴再沿岩石的较大孔裂隙迁移、聚集直至形成油气藏。

地质学的问题往往是从现实出发经过类比推理而解决的, 认识了天然气水合物形成油气藏作用的机理, 对于海相地层大油气区形成的原因解释就有了基础。例如伊朗板块和阿拉伯板块之间的原海洋中广泛发育有前寒武纪至第三纪多层位的菌藻类沉积和天然气水合物, 在第三纪阿尔卑斯造山运动中板块汇聚、大洋海槽回返形成扎格罗斯造山带 (岩浆岩带、推覆带、褶皱带和山前拗陷), 而第三纪的阿斯玛里生物屑灰岩和膏盐层则是优良储盖层。正是各地质时代海洋沉积中丰厚的天然气水合物和水合物稳定带封盖下的游离烃 (包括热解烃、幔源烃) 随着温度、压力的变化向地台方向迁移, 从造山带 (原海洋区) 向波斯湾 (后来的山前拗陷和褶皱带)、阿拉伯地台大斜坡长距离运移和成藏, 从而有了中东“油极”区。

类似的过程使俄罗斯板块和西伯利亚板块 (以及一系列小地体) 之间的汇聚带——乌拉尔、蒙古造山带, 发育的古老烃源岩 (从前寒武纪开始, 尤其是多马尼克优质烃源岩) 依着原始海洋中的天然气水合物和水合物稳定带封盖下的游离烃沿着侧向和垂向的通道逐步向俄罗斯地台迁移, 在泥盆、石炭、二叠系等层位的白云岩、生物屑灰岩、裂隙灰岩、礁灰岩或砂岩透镜体中聚集成藏, 从而形成了世界上又一个大油气区。

这是认识到天然气水合物对油气藏形成的意义, 从而可以预测和评价古老海相地层区的油气勘探前景。

4 对我国古老地台区油气勘探的前景探讨

如果上扬子地块北邻的秦岭造山带及其南侧山前拗陷可以对四川盆地主体提供由天然气水合物带来的气源, 那么四川盆地东北缘、江汉盆地北缘也可能由造山带区提供气源。雪峰、九岭、怀玉基底拆离造山带的北缘也因此可能有一些气源, 即

在四川盆地东南缘到鄂渝湘黔坳陷一带或许具有勘探前景。

中生代以来由于印度板块向欧亚板块的俯冲,以及扬子地块向北西方向的汇聚,使冈底斯—喜马拉雅海受挤压而回返上升、造山。推测在原海域、海槽沉积物中的水合物油气资源向温度、压力递减方向迁移,即首先向羌塘—唐古拉地块的南部边缘聚集。按地质年代中海洋水合物气可向地台方向迁移成藏的设想,设想随着昆仑—巴颜喀拉—阿尼玛卿海槽转变为山脉,其古老海相沉积中的油气应向羌塘—唐古拉地块的北缘,以及向塔里木、柴达木地块的南缘迁移和聚集。

依此推想,我国古老地台区如羌塘—唐古拉地块、塔里木地块、柴达木地块、准噶尔地块等都是油气勘探远景区,油气运移由地块边缘逐步向中部隆起推进(如果存在中部隆起的话),但通常在地块边缘的沉积盖层厚、油气埋藏深、勘探难度大,而首先突破的常常是在地块中部的隆起区。

南海海域的现有勘探表明,其深水区的天然气水合物已经遭受气化逃逸,但在东沙北坡海域大面积覆盖的碳酸盐结壳(430 km²,自生碳酸盐岩)之下如能找到具有储集、封盖条件的勘探位置,不应排除发现正在形成或已经形成的可燃气体藏,并且在

以后的地质历史中也不应排除再迁移的可能。

基于台西南海域的天然气水合物可以提供台湾南部泥火山气源和形成气田的认识,有理由设想台湾南部已枯竭停产的气井在关闭数年后可以重新获得产量。

参考文献:

- 1 Kvenvolden K A. 气体水合物概论[J]. 赵国宪译. 海洋地质译丛, 1997, (2): 17~ 27
- 2 金庆焕, 张光学, 杨木壮等. 天然气水合物资源概论[M]. 北京: 科学出版社, 2006
- 3 卢振权, 吴必豪, 金春爽. 天然气水合物资源量的一种估算方法: 以南海北部陆坡为例[J]. 石油实验地质, 2007, 29(3): 319~ 323
- 4 马 力, 陈焕疆, 甘克文等. 中国南方大地构造和海相油气地质[M]. 北京: 地质出版社, 2004. 404~ 413
- 5 钟三雄, 费立元, 林晓武. 深水海床地貌奇景初探[J]. 地质, 2005, 24(4): 10~ 11
- 6 台湾地质调查所资源地质组. 台湾西南海域蕴藏丰富的天然气水合物[J]. 地质, 2006, 25(3): 11~ 13
- 7 杨灿尧. 台湾的泥火山分布[J]. 地质, 2006, 25(2): 22~ 29
- 8 杨灿尧. 泥火山喷气所带来地底的讯息[J]. 地质, 2006, 25(2): 30~ 36
- 9 叶高华. 由流体地球化学探讨台湾泥火山的成因[D]: [硕士学位论文]. 台北: 台湾大学海洋研究所, 2003

(编辑 叶德燎)

(上接第 49 页)

- 8 李 勇, 曾允孚, 伊海生. 龙门山前陆盆地沉积及构造演化[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1995
- 9 乐光禹. 大巴山造山带及其前陆盆地的构造特征和构造演化[J]. 矿物岩石, 1998, 18(增刊): 8~ 15
- 10 徐 强, 朱同兴, 牟传龙等. 川西晚三叠世—晚侏罗世层序岩相古地理编图[J]. 西南石油学院学报, 2001, 23(1): 1~ 5
- 11 高红灿, 郑荣才, 柯光明等. 川东北前陆盆地须家河组层序—岩相古地理特征[J]. 沉积与特提斯地质, 2005, 25(3): 38~ 45
- 12 王宝清. 川西—川西北地区上三叠统碎屑储集岩成岩作用[J]. 石油实验地质, 2008, 30(1): 69~ 81
- 13 林良彪, 陈洪德, 翟常博等. 四川盆地西部须家河组砂岩组分及其古地理探讨[J]. 石油实验地质, 2006, 28(6): 511~ 517
- 14 林良彪, 陈洪德, 姜 平等. 川西前陆盆地须家河组沉积相及

- 岩相古地理演化[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2006, 33(4): 376~ 383
- 15 刘金华, 张世奇, 孙耀庭等. 川西前陆盆地上三叠统须家河组地层的划分对比及沉积演化[J]. 地层学杂志, 2007, 31(2): 190~ 196
- 16 姜在兴, 田继军, 陈桂菊等. 川西前陆盆地上三叠统沉积特征[J]. 古地理论, 2007, 9(2): 143~ 154
- 17 林良彪, 陈洪德, 胡晓强等. 四川盆地上三叠统构造层序划分及盆地演化[J]. 地层学杂志, 2007, 31(4): 415~ 422
- 18 刘树根, 赵锡奎, 罗志立等. 龙门山造山带—川西前陆盆地系统构造事件研究[J]. 成都理工学院学报, 2001, 28(3): 221~ 230
- 19 林良彪, 陈洪德, 侯明才. 须家河组砂岩组分特征与龙门山推覆体的形成演化[J]. 天然气工业, 2007, 27(4): 28~ 30

(编辑 徐文明)