

何家雄, 关进安, 王梦荷, 等. 南海北部气烟囱成因及其与油气及水合物运聚成藏关系[J]. 海洋地质前沿, 2024, 40(4): 1-8.

HE Jiaxiong, GUAN Jin'an, WANG Menghe, et al. Discussion on the origin of gas chimney and its relationship with the migration and accumulation of oil and gas hydrates into reservoirs in the northern South China Sea[J]. Marine Geology Frontiers, 2024, 40(4): 1-8.

南海北部气烟囱成因及其与油气 及水合物运聚成藏关系

何家雄¹, 关进安^{2,3*}, 王梦荷^{2,3}, 苏丕波⁴

(1 中国科学院大学, 北京 100049; 2 中国科学院天然气水合物重点实验室, 广东省新能源和可再生能源研究开发与应用重点实验室, 中国科学院广州能源研究所, 广州 510640; 3 中国科学技术大学能源科学与技术学院, 合肥 230026; 4 广州海洋地质调查局三亚南海地质研究所, 三亚 572024)

摘要:南海北部大陆边缘盆地油气勘探及天然气水合物调查与勘查评价中, 地球物理资料尤其是二维/三维地震剖面上常见不同类型、不同特征且与油气藏及天然气水合物藏密切相关的地震反射模糊带等地震地质异常体, 即“气烟囱”或“流体底辟”或“含气陷阱”。本文拟重点研究“气烟囱”成因及其与油气及天然气水合物运聚成藏的关系。油气勘探实践表明, 气烟囱往往与油气藏尤其是天然气水合物藏伴生, 且油气及水合物多处于其上覆或两侧位置附近。通过大量油气及天然气水合物勘探实践、地质地球物理资料综合分析及油气地球化学分析等, 充分证实了气烟囱与其上覆或两侧附近的油气及天然气水合物藏具有密切的成因联系。研究表明, 气烟囱作为连接和沟通烃源/气源供给系统与油气藏及水合物藏之间的重要桥梁和纽带, 是油气(水合物)勘探中判识追踪油气藏及水合物藏成因、确定其烃源/气源供给系统活动特征的重要依据和指示。因此, 深入分析研究气烟囱系统成因及类型, 不仅能够追踪探索和判识确定油气及水合物成因, 阐明其运聚成藏规律及控制因素, 而且能够指导油气及水合物勘探部署与综合评价工作。同时, 通过油气及水合物成因的地球化学分析, 亦可判识确定其气烟囱成因及其对油气和水合物运聚成藏的控制影响作用。

关键词:气烟囱; 气源构成; 气源类型; 油气及水合物; 运聚特征

中图分类号: P744.4; P618.13

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2023.185

0 引言

南海北部大陆边缘盆地油气勘探与天然气水合物调查及勘查研究中, 在大量二维/三维地震剖面

收稿日期: 2023-07-24

资助项目: 广东省自然科学基金(2021A1515011515); 三亚崖州湾科技专项(SCKJ-JYRC-2023-02); 国家自然科学基金(U20A20100, 42106079); 国家天然气水合物专项(GZH201100305)

第一作者: 何家雄(1956—), 男, 博士, 教授, 主要从事深水油气及水合物成藏地质综合研究工作。E-mail: 1445935281@qq.com

* 通讯作者: 关进安(1980—), 男, 博士, 副研究员, 主要从事天然气水合物新能源等方面的研究工作。E-mail: guanja@ms.giecc.ac.cn

模糊带或声学空白带, 这种地震反射模糊带异常体, 是油气等流体运聚通道系统、流体强烈上侵活动的重要表征和活动轨迹的明确指示^[1-8]。大量油气及天然气水合物勘探实践表明, 地震反射模糊带往往与其上覆或两侧附近的油气及天然气水合物运聚成藏与分布富集密切相关, 两者存在明显的成因联系。这种地震反射模糊带实际上就是人们通常俗称的“气烟囱”“气体云”等, 它是一种特殊的主要与油气(水合物)等流体密切相关的地震反射地质异常体。由于形成气烟囱的这种杂乱或空白模糊地震反射特征存在一定的多解性, 加之缺少统一规范的气烟囱成因类型的判识划分标准, 以及人们认知水平与地质研究程度的差异, 目前对于气烟囱的

认知判识较为局限,存在研究混乱、概念混淆等问题,尤其是对于不同类型的气烟囱所伴生的油气及天然气水合物成因及其运聚成藏过程、控制影响因素等,尚缺少更深入的分析。鉴此,本文拟在前人研究及近年所获大量地质地球物理资料与油气(天然气水合物)地质综合研究成果的基础上^[9-31],重点阐明气烟囱基本概念及其主要内涵,并以南海北部油气/天然气水合物勘探中常见的气烟囱为例,通过地球物理与地质地球化学分析,综合判识划分气烟囱主要成因类型。在此基础上,进一步深入分析研究气烟囱成因特点以及与油气及天然气水合物运聚成藏的成因联系,以期为南海北部油气勘探及天然气水合物勘查实践、油气地质综合研究等提供重要的地质依据和基础研究成果,同时为油气及天然气水合物运聚成藏机制、形成条件及控制因素分析,以及油气及天然气水合物资源的勘探部署与地质评价等提供指导与借鉴。

1 气烟囱基本特征

气烟囱是指气体强烈活动,在侵入充注地层发生渗漏逸散过程中所形成的不同形态的地震地质异常体,即地震反射杂乱模糊带(地层中地震波组畸变所产生的地震杂乱模糊带或空白反射带),且多呈烟囱柱状体形态出现,故称其为“气烟囱”。气烟囱主要特征是在二维/三维地震剖面上具有明显的空白地震反射或杂乱模糊地震反射特征(反射波组模糊杂乱不清或完全空白),在浅剖上则出现明显的声学空白带。由于其属于流体强烈充注和大规模侵入作用所致,通常均未根本改变其原始地层产状特征,故即使通过先进的地震采集及处理技术方法对其进行精细重复处理,仍然能够完全保持原来的空白或模糊杂乱地震反射特征(图1)。

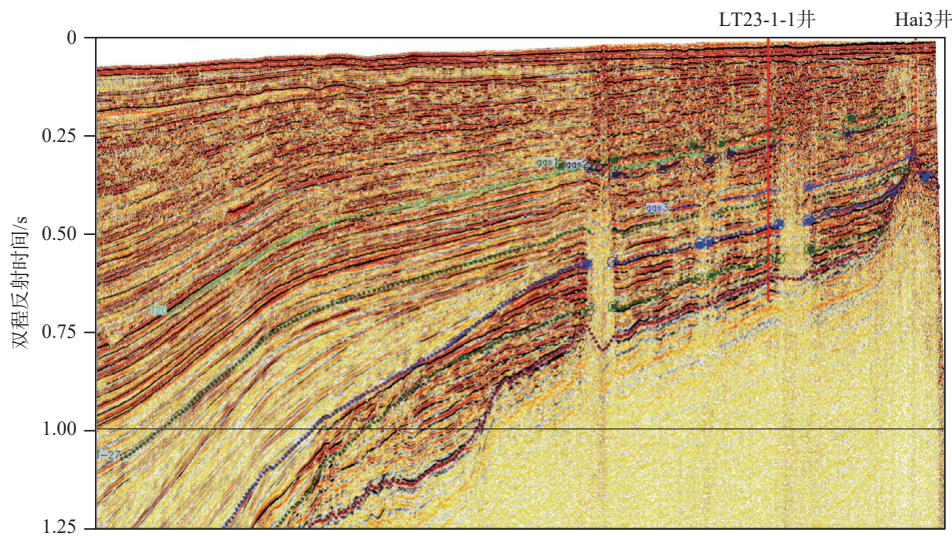


图1 南海西北部莺东斜坡带 LT23-1 气烟囱典型地震剖面

Fig.1 Typical seismic profile of LT23-1 gas chimney in the Yingdong Slope Zone in the northwestern South China Sea

气烟囱是地层中流体强烈活动并发生渗漏散失以及存在复杂运聚系统的具体表征和活动轨迹的重要指示。然而,也不可否认存在其他地质因素所形成的“非气烟囱”成因的地震反射模糊带(如断层及裂隙活动、塌陷坑、含气陷阱等),换言之,由于各种流体强烈活动侵入地层或其他复杂地质因素的影响,均可能产生非气烟囱成因的地震波组畸变而形成一些地震反射杂乱模糊带或空白地震反射带。因此,如何判定地震反射模糊带/空白带是否是真正的与油气及天然气水合物运聚成藏密切相关的气烟囱至关重要,尤其是对于不同流体上侵活动、

油气运聚成藏机制与控制因素分析及天然气水合物运聚成藏条件等研究更为重要。

2 气烟囱研究意义

前人研究表明,气烟囱、泥底辟及泥火山等地质体是地层中流体强烈活动及底辟上侵活动并发生流体运聚与散失或强烈渗漏作用等的重要产物,其与油气及天然气水合物运聚成藏过程密切相关^[7-11,17-24]。在大量油气勘探及天然气水合物勘查的实践中,普遍发现了与油气及天然气水合物运聚

富集成藏密切相关的不同成因类型、不同形态特征的气烟囱等地震地质异常体。因此, 气烟囱是沟通和连接烃源/气源供给系统与油气藏及天然气水合物藏的重要桥梁和纽带, 亦是流体活动及油气(天然气水合物)运聚成藏的重要指示和具体表征。深入分析研究气烟囱成因, 不仅可以判识与其具有成因联系的油气及天然气水合物成因和运聚富集特征, 而且亦可通过分析油气及天然气水合物地球化学特征及其成因, 全面追踪、深入研究其气源/烃源供给系统以及具有成因联系的气烟囱成因类型与活动演变特点, 进而指导油气勘探部署以及天然气水合物勘查钻探目标的评价优选等, 进一步提高油气勘探中地质评价成功率与天然气水合物勘查中钻探目标预测优选的成功率。鉴此, 对于气烟囱成因研究意义及其重要性, 具体可总结归纳为以下 3 点:

(1) 气源构成、运聚供给特点及分布特征的差异, 往往导致形成不同成因类型的气烟囱, 而这些不同气源成因的气烟囱, 能够明确指示和代表其气源/烃源供给关系与流体运聚活动的基本特征。因此, 气烟囱不仅具有运聚通道的作用, 而且更重要的是形成气烟囱的气源构成及供给, 能够指示和表征与其具有成因联系的油气藏及天然气水合物藏的成因特点及富集特征。

(2) 大量的油气勘探及天然气水合物勘查实践表明, 气烟囱是连接和沟通气源/烃源供给系统与油气藏及天然气水合物藏之间的重要桥梁或纽带。因此, 气烟囱能够为油气及天然气水合物富集成藏等提供优势运聚通道与较好储集(气烟囱内断层裂隙)条件^[12-13], 故深入分析其成因及分布特征与发育演化过程等至关重要。

(3) 通过气烟囱成因分析(分析判识和划分确定不同成因类型气烟囱), 可以判识确定与其具有成因联系的油气及天然气水合物成因及其运聚成藏特征和主要控制影响因素等; 亦可通过分析油气及天然气水合物地球化学特征及其成因与气源/烃源供给系统的构成特点, 综合判识确定与其具有成因联系的气烟囱成因类型及其运聚输导过程和控制影响因素等。

3 气烟囱成因类型

前人在油气勘探实践中从不同研究角度提出了不同的气烟囱成因类型分类与判识划分方案, 取

得了诸多综合研究成果与认识^[32-43], 但亦不可避免地存在一些气烟囱分类划分过于复杂且实用性不强等问题。鉴此, 本文在前人研究基础上, 根据气烟囱形成机制及气源成因、构成和供给特点, 及其与油气及天然气水合物运聚成藏的成因联系和控制影响作用等, 首次提出气烟囱成因类型的划分与判识应主要根据其气源成因及供给特点, 并以油气勘探实践及研究中能够简单实用作为根本遵循, 据此提出将气烟囱主要划分为深源型和浅源型 2 大类, 而且, 依据“气源构成决定气烟囱成因及活动轨迹”的核心思想及原则, 总结和界定了深源型与浅源型 2 大类气烟囱的基本特征及内涵。

(1) 深源型气烟囱类型

主要由深部/深层的不同成因气源/烃源供给所形成(图 2)。深部/深层气源可分为成熟生烃形成的深部热解气源或深部幔源型及壳源型的无机气源。深源型气烟囱分布可深可浅。如果气烟囱分布深度较浅, 其肯定与深层气源运聚通道系统畅通, 即能够互联互通, 故其必然有深部气源, 通过有效畅通的运聚通道源源不断地输入供给到浅部/浅层气烟囱, 即其气源成因及构成仍然属于深部气源之供给。这种深源型气烟囱, 主要有底辟伴生气烟囱和深大断裂裂隙伴生气烟囱等成因类型。总之, 这种深源型气烟囱不管分布深还是浅, 其成因及气源构成与供给均源于深部/深层烃类热解气源或地壳深源无机气(壳源气和幔源气)。

(2) 浅源型气烟囱类型

主要由浅层/浅部气源供给所形成(图 3)。气烟囱的气源供给以生物气为主(>80%), 混有少量的深层热解气(<20%)。生物气气源来自成熟生烃

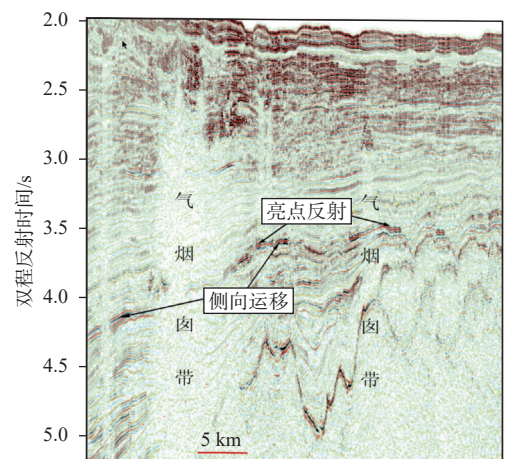


图 2 南海北部深水区长白云凹陷深源型气烟囱

Fig.2 Deep-sourced gas chimneys in the Baiyun Sag in deep water zone of the northern South China Sea

门槛以上的未成熟生物化学作用带,如南海北部深水区为海底浅表层至3200 m 富有机质沉积物,地温 $<75^{\circ}\text{C}$ 。浅源型气烟囱主要分布在浅层。常见的浅源型气烟囱类型主要有生物气气源形成的气烟囱和以生物气为主并含少量热解气的混合气源形成的气烟囱等。

总之,根据气烟囱成因类型及其形成发育特征,

以及与油气及天然气水合物密切的成因联系及其伴生富集特点等,密切结合研究区油气及天然气水合物成藏的基本地质条件综合分析,即可评价和预测有利油气及天然气水合物运聚成藏的富集区带及勘探目标,并通过实施钻探获得油气及天然气水合物勘探的重大发现和突破,取得较好的油气勘探效果和较高的油气勘探成功率。

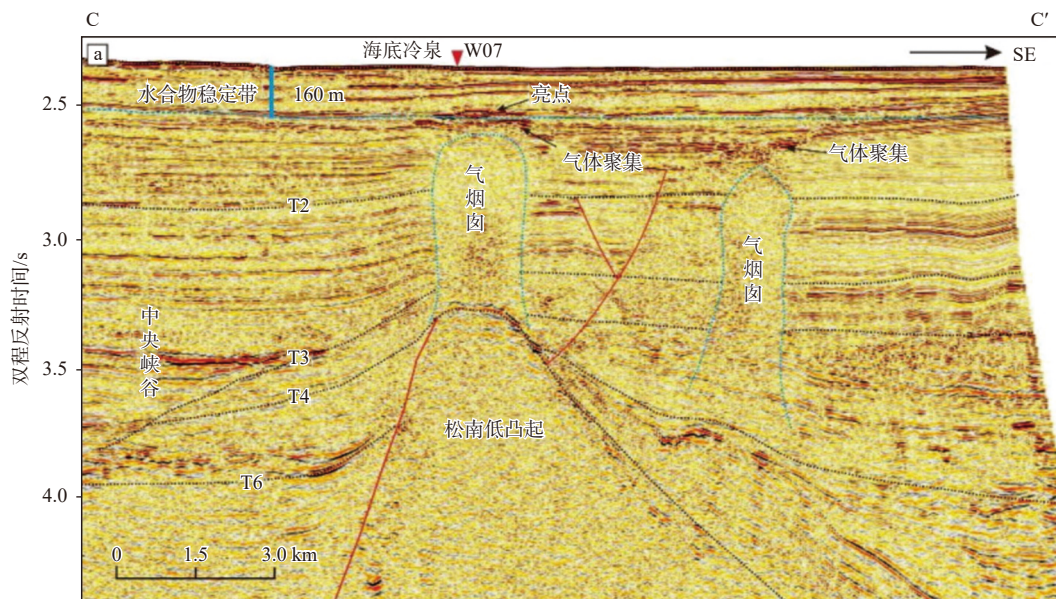


图3 南海北部深水区松南低凸起浅源型气烟囱典型地震剖面特征

Fig.3 Typical seismic profile of shallow-sourced gas chimneys in the Songnan Low Uplift in deep water zone of the northern South China Sea

4 气烟囱成因与油气运聚成藏

南海北部油气勘探实践与研究表明,深源型气烟囱分布可深可浅,浅层分布的气烟囱如果能够与深部气源运聚通道有效连通,其气源供给主要来自深部气源系统,即可形成“深源型气烟囱”。深源型气烟囱由于一般具有深部气源供给或与深部气源能够有效沟通,即纵向运聚通道系统畅通,故可为深部油气、浅层油气、浅表层天然气水合物运聚成藏等提供充足的烃源/气源供给和畅通的运聚输导条件与储集(断层裂隙)条件,因此,深源型气烟囱作为油气等流体高效运聚的有效运移通道系统,能够为形成富集高产的规模性油气藏和天然气水合物藏提供极佳的运聚成藏条件,即“有效运聚通道和深部气源供给”。从图4可以看出,南海西北部莺歌海盆地中央泥底辟带伴生深源型气烟囱发育的展布特征,以及与中深层及浅层天然气运聚成藏的成因联系和运聚富集特征。迄今为止,该区勘探

开发的浅层大中型气田群与中深层高温超压大气田的形成、运聚富集规律及主要成藏控制因素等,均与这种泥底辟伴生深源型气烟囱有效运聚通道系统的纵向运移输导供烃/供气作用密切相关^[44-49],在该泥底辟伴生深源型气烟囱顶部和内部断层裂隙及两侧附近均有天然气分布聚集乃至富集成藏,形成了一系列纵向叠置、复式聚集的浅层大中型气田群和中深层高温超压大气田群。

浅源型气烟囱分布浅,其气源/烃源供给主要来自气烟囱附近浅层生物气或以生物气为主混有少量深部热解气的混合气,故浅源型气烟囱的气源构成主要以浅层生物气为主($>80\%$),并混有少量深部热解气($<20\%$)。这种浅源型气烟囱与深部热解气气源供给的运聚输导通道系统不畅通,即深层热解气气源运聚供给系统与浅源型气烟囱之间的纵向运聚通道系统不能有效地互联互通,故深部热解气的贡献甚少,主要以浅层生物气气源供给为主。浅源型气烟囱的运聚通道系统展布规模及运聚距离有限,由于未经过长距离运聚输导,属于短距离

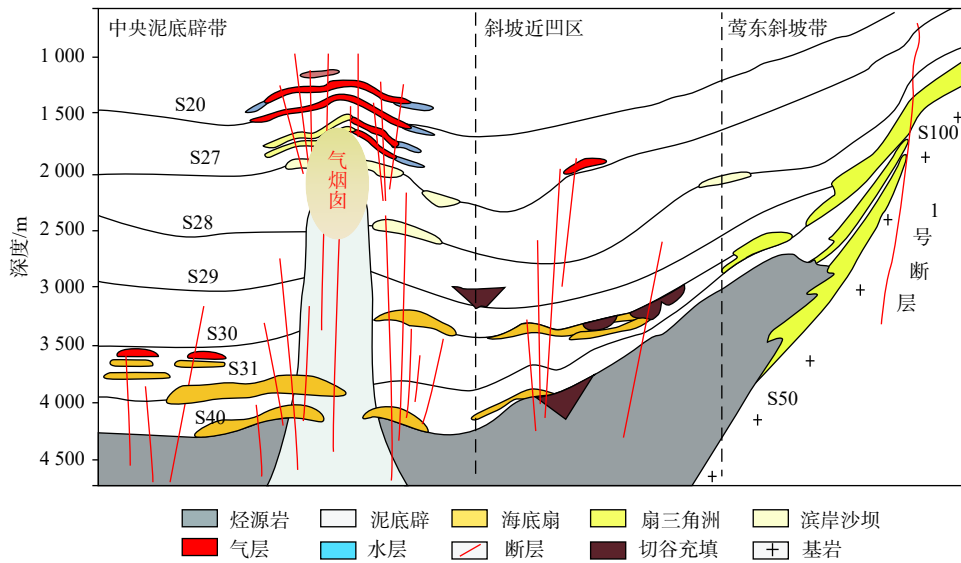


图 4 南海西北部深源型气烟囱 (泥底辟伴生) 与天然气运聚成藏

Fig.4 Deep-sourced gas chimney (associated with mud diapir) and natural gas migration and accumulation in the northwestern South China Sea

就近运聚,故烃源/气源供给在运聚成藏过程中损耗较小,在较好的运聚富集条件与储集(浅层断层裂隙)条件下,能够满足成藏条件的基本要求时,即可形成一定规模的生物气气藏和浅表层天然气水合物藏。

浅源型气烟囱在深水油气勘探及天然气水合物勘查中的典型实例如图 5 所示。可以看出,南海北部琼东南盆地南部深水区的松南花岗岩低凸起(图 5)和陵南花岗岩低凸起上的浅源型气烟囱分布深度仅约 900 m(海底以下深度,以下均同),气烟囱

幅度约为 600 m,但却起到了对天然气等流体运聚富集的输导、控制作用,最终能够将其附近浅层生物气(80%)和通过深部断层裂隙运聚通道混入的少量深部热解气(20%)输送至浅源型气烟囱上覆深水海底浅表层(高压低温稳定带)未成岩黏土粉砂质沉积物(30~180 m)中储集,从而形成天然气水合物矿藏(图 5)。很显然这种浅源型气烟囱在天然气水合物形成过程中,起到了非常重要的输导输送和富集成藏的控制影响作用。如果没有这种重要的输导与富集成藏作用,则难以提供充足的烃源供给

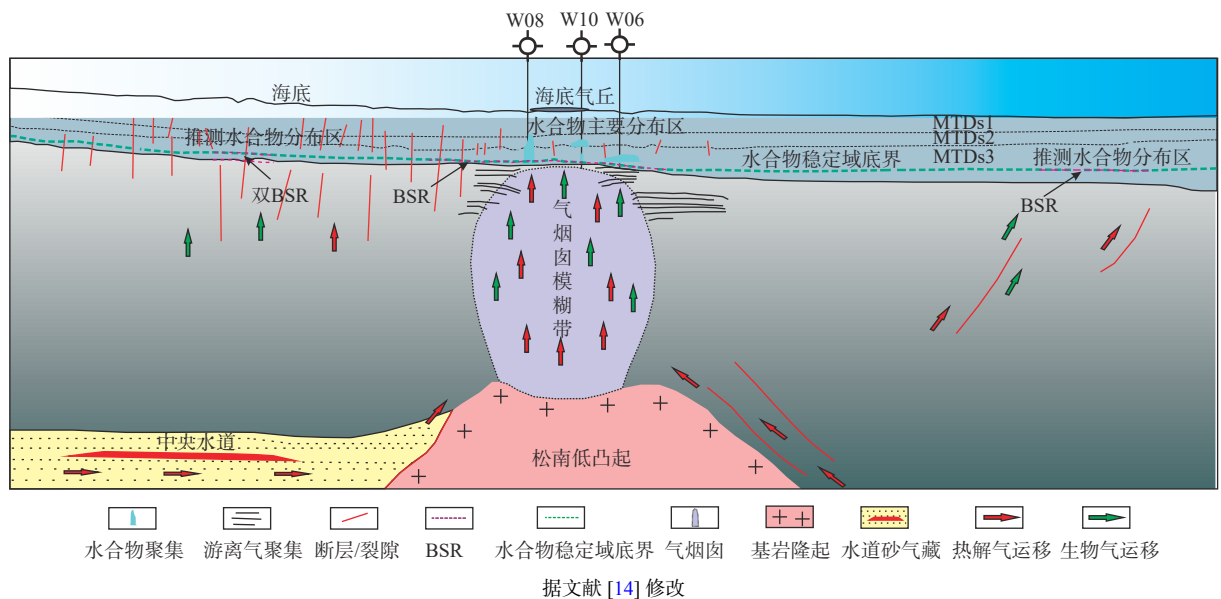


图 5 南海北部松南低凸起浅源型气烟囱与天然气水合物运聚成藏

Fig.5 Shallow-sourced gas chimney and migration and accumulation of natural gas hydrate in the Songnan Low Uprift in the northern South China Sea

而最终形成浅表层天然气水合物藏。总之,浅源型气烟囱运聚系统将该区以浅层附近生物气气源为主的流体源源不断地输送到其上覆浅表层天然气水合物高压低温稳定域(水合物富集场所),是形成规模性富集的天然气水合物藏的关键控制因素。目前,这种浅源型气烟囱富集型天然气水合物藏,即浅源型气烟囱与上覆浅表层天然气水合物构成纵向叠置的水合物富集成藏类型,在南海北部深水天然气水合物勘查实践中具有普遍性的分布规律^[50-51, 13-17],据此可指导引领该区进一步的天然气水合物资源勘查部署与地质综合评价及天然气水合物钻探目标的优选预测工作。

5 结论

(1)根据气烟囱气源构成及供给特点和展布特征,尤其是基于油气(水合物)勘探实践中的实用性及简洁性原则,可将气烟囱划分为深源型和浅源型2种主要成因类型。气烟囱成因与其气源构成和气体强烈的动力作用密切相关,因此,气烟囱既可作为运聚通道亦能指示和表征其气源构成特点与供给特征,具有重要的研究意义。

(2)气烟囱形成及发育展布特征与油气及天然气水合物运聚成藏密切相关,其不仅可提供油气等流体纵向运聚通道系统,而且其伴生的断层裂隙可作为油气及水合物富集成藏的较好储集场所。

(3)深源型气烟囱主要为泥底辟伴生气烟囱和深大断裂伴生气烟囱,其主要与深部烃源/气源供给所提供的热解气气源或深部无机气源输入密切相关;浅源型气烟囱,则多为浅层断层裂隙所伴生的气烟囱,其主要与浅层附近生物气(生烃成熟门槛以上)或以生物气为主混有少量深部热解气所构成的混合气源输入供给等密切相关。浅源型气烟囱与上覆浅表层天然气水合物纵向叠置构成的浅表层天然气水合物富集成藏模式系统及组合类型,在南海北部深水具有普遍性,可指导该区天然气水合物勘查部署及有利勘探目标的评价优选。

(4)根据形成气烟囱的气源构成(成因)及供给特点可判识其成因类型属于深源型还是浅源型。同时,依据与气烟囱有成因联系的油气及天然气水合物地球化学分析所表征和指示的气源构成特征及成因特点,亦可追踪与判定其气烟囱成因类型。

参考文献:

- [1] 李明诚. 地壳中的热流体活动与油气运移 [J]. 地学前缘, 1995, 2(4): 155-162.
- [2] 孙启良, 吴时国, 陈端新, 等. 南海北部深水盆地流体活动系统及其成藏意义 [J]. 地球物理学报, 2014, 57(12): 4052-4062.
- [3] 何家雄, 黄火尧, 陈龙揆, 等. 莺歌海盆地泥底辟发育演化与油气运聚机制 [J]. 沉积学报, 1994, 12(3): 120-129.
- [4] 何家雄, 夏斌, 陈恭洋, 等. 莺歌海盆地泥底辟成因及展布特征及其与天然气运聚成藏的关系 [J]. 中国地质, 2006, 33(6): 149-157.
- [5] 何家雄, 祝有海, 翁荣南, 等. 南海北部边缘盆地泥底辟及泥火山特征及其与油气运聚关系 [J]. 地球科学, 2010, 35(1): 75-86.
- [6] 何家雄, 祝有海, 翁荣南, 等. 莺歌海盆地油气运移系统及油气勘探前景 [J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2010, 32(1): 1-10.
- [7] 何家雄, 李明兴, 陈伟煌, 等. 莺歌海盆地热流体上侵活动与天然气运聚富集关系探讨 [J]. 天然气地球科学, 2000, 11(6): 29-43.
- [8] 何家雄, 王振峰, 解习农, 等. 莺歌海盆地泥-流体底辟带热流体活动对天然气运聚成藏的控制作用 [J]. 地球科学, 2004, 29(2): 203-210.
- [9] 何家雄, 祝有海, 马文宏, 等. 火山、泥火山/泥底辟及含气陷阱与油气运聚关系 [J]. 中国地质, 2010, 37(6): 1731-1743.
- [10] HE J X, WANG S H, ZHANG W, et al. Characteristics of mud diapirs and mud volcanoes and their relationship to oil and gas migration and accumulation in a marginal basin of the northern South China Sea [J]. *Environmental Earth Sciences*, 2016, 75: 1110-1122.
- [11] 何家雄, 万志峰, 张伟, 等. 南海北部泥底辟/泥火山形成演化与油气及水合物成藏 [M]. 北京: 科学出版社, 2019: 1-210.
- [12] 张伟, 何家雄, 卢振权, 等. 琼东南盆地疑似泥底辟与天然气水合物成矿成藏关系初探 [J]. 天然气地球科学, 2015, 26(11): 2185-2197.
- [13] 张伟, 梁金强, 陆敬安, 等. 中国南海北部神狐海域高饱和度天然气水合物成藏特征及机制 [J]. 石油勘探与开发, 2017, 44(5): 670-680.
- [14] 张伟, 梁金强, 陆敬安, 等. 琼东南盆地典型渗漏型天然气水合物成藏系统的特征与控藏机制 [J]. *天然气工业*, 2020, 40(8): 90-99.
- [15] 何家雄, 苏丕波, 卢振权, 等. 南海北部琼东南盆地天然气水合物气源及运聚成藏模式预测 [J]. *天然气工业*, 2015, 35(8): 19-29.
- [16] 何家雄, 卢振权, 苏丕波, 等. 南海北部天然气水合物气源系统与成藏模式 [J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2016, 38(6): 8-24.
- [17] 宋鹏. 琼东南盆地深水区浅层运聚系统及其对天然气水合物成藏的控制 [J]. *海洋地质前沿*, 2021, 37(7): 11-21.
- [18] 何家雄, 李福元, 王后金, 等. 南海北部大陆边缘深水盆地成因机制与油气资源效应 [J]. *海洋地质前沿*, 2020, 36(3): 1-11.
- [19] 苏丕波, 何家雄, 梁金强. 南海北部陆坡深水天然气水合物

- 成藏系统及其控制因素[J]. 海洋地质前沿, 2017, 33(7): 1-10.
- [20] 吴能友, 杨胜雄, 王宏斌, 等. 南海北部陆坡神狐海域天然气水合物成藏的流体运移体系[J]. 地球物理学报, 2009, 52(6): 1641-1650.
- [21] 吴能友, 孙治雷, 卢建国, 等. 冲绳海槽海底冷泉-热液系统相互作用[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2019, 39(5): 23-35.
- [22] 吴时国, 龚跃华, 米立军, 等. 南海北部深水盆地油气运移系统及天然气水合物成藏机制研究[J]. 现代地质, 2010, 24(3): 433-440.
- [23] 王秀娟, 吴时国, 王大伟, 等. 琼东南盆地多边形断层在流体运移和天然气水合物成藏中的作用[J]. 石油地球物理勘探, 2010, 45(1): 122-128.
- [24] 张伯达, 雷振宇, 郑文义, 等. 地震资料中柱状流体运移通道形态参数及其地质意义[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2019, 39(3): 171-181.
- [25] 朱伟林, 张功成, 杨少坤, 等. 南海北部大陆边缘盆地天然气地质[M]. 北京: 石油工业出版社, 2007: 1-81.
- [26] 何家雄, 颜文, 马文宏, 等. 南海准被动陆缘深水油气与水合物共生意义[J]. 西南石油大学学报, 2010, 32(6): 5-10.
- [27] 何家雄, 夏斌, 孙东山, 等. 琼东南盆地油气成藏组合、运聚规律与勘探方向分析[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(1): 53-58.
- [28] 王秀娟, 吴时国, 董冬冬, 等. 琼东南盆地块体搬运体系对天然气水合物形成的控制作用[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2011, 31(1): 109-118.
- [29] 骆迪, 蔡峰. 大陆边缘沉积盆地流体逸散管道地震特征及其成因机制[J]. 海洋地质前沿, 2017, 33(1): 1-10.
- [30] 鄢伟, 张光学, 张莉, 等. 南海南部陆缘地质流体类型及其油气成藏意义[J]. 中国地质, 2018, 45(1): 39-47.
- [31] 刘杰, 孙美静, 杨睿, 等. 泥底辟输导流体机制及其与天然气水合物成藏的关系[J]. 现代地质, 2016, 30(6): 1399-1407.
- [32] 张为民, 李继亮, 钟嘉麒, 等. 气烟卤的形成机理及其与油气的关系探讨[J]. 地质科学, 2000, 35(4): 445-449.
- [33] 王秀娟, 吴时国, 董冬冬, 等. 琼东南盆地气烟卤构造特点及其与天然气水合物的关系[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2008, 28(3): 103-108.
- [34] 杨涛涛, 吕福亮, 王彬, 等. 琼东南盆地南部深水区气烟卤地球物理特征及成因分析[J]. 地球物理学进展, 2013, 28(25): 2634-2641.
- [35] 何永焄, 王英民, 许翠霞, 等. 珠江口盆地深水区白云凹陷气烟卤特征及成藏模式[J]. 海相油气地质, 2012, 17(3): 62-66.
- [36] 韩鹏辉, 胡琰, 郭伟. 南海北部陆坡区气烟卤的分布特征与成因机制[J]. 天然气技术与经济, 2015, 9(1): 13-16.
- [37] 王静丽, 梁金强, 沙志彬, 等. 南海北部琼东南海域气烟卤发育特征及其对水合物形成与分布的影响[J]. 海洋地质前沿, 2017, 33(3): 1-6.
- [38] 张伟, 梁金强, 何家雄, 等. 南海北部陆坡泥底辟/气烟卤基本特征及其与油气和水合物成藏关系[J]. 海洋地质前沿, 2017, 33(7): 11-23.
- [39] 廖晋, 罗钧升, 宋鹏, 等. 琼东南盆地气烟卤发育特征、成因类型及对水合物成藏的控制作用[J]. 海洋地质前沿, 2021, 37(7): 33-42.
- [40] 张旭东, 尹成, 曾凡详, 等. 南海北部陆坡聚集流体活动系统及其对天然气水合物成藏的指示意义[J]. 地质通报, 2021, 40(2/3): 280-286.
- [41] 梁全胜, 刘震, 常迈, 等. 柴达木盆地三湖地区第四系气藏形成与“烟卤效应”[J]. 新疆石油地质, 2006, 27(2): 156-159.
- [42] 尹川, 张金森, 骆宗强, 等. 气烟卤模式识别技术在油气运移通道检测中的应用[J]. 地球物理学进展, 2014, 3(1): 1343-1349.
- [43] 许翠霞, 边海光, 马朋善, 等. 气烟卤的地球物理响应特征及油气勘探[J]. 地球物理学进展, 2014, 29(4): 1831-1836.
- [44] 郝芳, 李思田, 龚再升, 等. 莺歌海盆地底辟发育机制与流体幕式充注[J]. 中国科学(D辑): 地球科学, 2001, 31(6): 471-476.
- [45] 何家雄, 陈红莲, 陈刚, 等. 莺歌海盆地泥底辟带天然气成藏条件及勘探方向[J]. 中国海上油气(地质), 1995, 9(3): 155-163.
- [46] 张敏强. 莺歌海盆地底辟构造带天然气运聚特征[J]. 石油大学学报(自然科学版), 2000, 24(4): 39-42.
- [47] 郝芳, 邹华耀, 黄保家. 莺歌海盆地天然气生成模式及其成藏流体响应[J]. 中国科学(D辑): 地球科学, 2002, 32(11): 889-896.
- [48] 谢玉洪, 李绪深, 童传新, 等. 莺歌海盆地中央底辟带高温高压天然气富集条件、分布规律和成藏模式[J]. 中国海上油气, 2015, 27(4): 1-12.
- [49] 解习农, 李思田, 胡祥云, 等. 莺歌海盆地底辟带热流体输导系统及其成因机制[J]. 中国科学(D辑): 地球科学, 1999, 29(3): 247-256.
- [50] 梁金强, 张光学, 陆敬安, 等. 南海东北部陆坡天然气水合物富集特征及成因模式[J]. 天然气工业, 2016, 36(10): 157-162.
- [51] 苏丕波, 梁金强, 付少因, 等. 南海北部天然气水合物成藏地质条件及成因模式探讨[J]. 中国地质, 2017, 44(3): 415-427.

Discussion on the origin of gas chimney and its relationship with the migration and accumulation of oil and gas hydrates into reservoirs in the northern South China Sea

HE Jiexiong¹, GUAN Jin'an^{2,3*}, WANG Menghe^{2,3}, SU Pibo⁴

(1 University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 2 CAS Key Laboratory of Gas Hydrate, Guangdong Provincial Key Laboratory of New and Renewable Energy Research and Development, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou Institute of Energy Conversion, Guangzhou 510640, China; 3 School of Energy Science and Engineering, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China; 4 Sanya South China Sea Geological Research Institute, Guangzhou Marine Geological Survey, Sanya 572024, China)

Abstract: In the exploration and evaluation of oil and gas and/or natural gas hydrate in the northern continental margin basins in the South China Sea, geophysical data, especially 2D/3D seismic profiles, commonly show seismic geological anomalies such as seismic reflection blurry zones of different types and characteristics that are closely related to oil and gas reservoirs and/or natural gas hydrate reservoirs, namely "gas chimney" or "fluid diapir" or "gas trap". This article focuses on the origin of the "gas chimney" and its relationship to the migration and accumulation of oil, gas, and natural gas hydrates. The oil and gas exploration practice manifests that gas chimneys are often associated with oil and gas reservoirs, especially natural gas hydrate reservoirs; and oil and gas hydrates are often located near their overlying or flanking areas. Previous extensive exploration practices and analyses of geological, geophysical, and geochemical data have confirmed that the gas chimney is closely related to the enrichment and accumulation of oil, gas, and natural gas hydrates on its overlying or adjacent sides. Gas chimney, as a channel connecting hydrocarbon/gas supply system with oil and gas or hydrate reservoir, is an important indicator to tracking the origin of oil and gas and/or hydrate reservoirs, and determining the activity of hydrocarbon/gas supply system. Therefore, in-depth study on the causes and types of gas chimney systems is necessary to clarify the migration and accumulation and control factors, and to guide the exploration. Meanwhile, geochemical analysis in this field will help determine the origin of gas chimneys and their impact on the migration and accumulation of oil and gas or hydrates in reservoirs.

Key words: gas chimney; gas source composition; source type; oil, gas and hydrate; migration and accumulation