

海底浅层气探测识别方法研究

杨肖迪^{1,2}, 马瑞民³, 罗小桥^{1,2}, 姚志广^{1,2}

(1. 中国石油集团工程技术研究有限公司, 天津 300450; 2. 中国石油集团海洋工程重点实验室, 天津 300450;
3. 中国石油海洋工程公司 钻井工程事业部, 天津 300450)

摘要:海底浅层气在地层中聚集会降低土层强度或形成高压气囊,会危害海洋工程建设,查明工区内海底浅层气分布具有重要意义。声波能够在海水中和地层中稳定的远距离传播,是探测海底浅层气的主要手段。含气地层的孔隙度增加、密度减小,造成声波波速和波阻抗降低,对声波中高频成分吸收衰减严重。含气地层与周围地层界面处反射系数较大,是强反射界面,因此浅层气顶幕为不规则的强反射,内部为杂乱的空白反射,并且缺乏高频成分。对渤海湾某石油平台周围进行了浅地层剖面调查,其周围分布着成片状聚集的浅层气和平行状的断层,浅层气与断层无直接关系,浅层气可能来源于深部。需要结合前期地质资料和取样分析判断其成因,从而采取相应的措施保证平台安全。

关键词:海底浅层气; 声学反射特征; 声学空白; 相位反转; 频率异常; 石油平台

中图分类号: TE54

文献标识码: A

文章编号: 1002-3682(2020)03-0187-09

doi: 10.3969/j.issn.1002-3682.2020.03.004

引用格式: YANG X D, MA R M, LUO X Q, et al. Study on the methods for detection and identification of sub-seabed shallow gases[J]. Coastal Engineering, 2020, 39(3):187-195. 杨肖迪, 马瑞民, 罗小桥, 等. 海底浅层气探测识别方法研究[J]. 海岸工程, 2020, 39(3):187-195.

海底浅层气指海床以下 1 000 m 以浅聚集的有机气体。海底浅层气有 2 种类型:一种是生物甲烷浅层气,主要成分是甲烷气体,是大量陆源碎屑物质带来的丰富的生物碎屑和有机质沉积在地层中,经甲烷菌分解逐步转化成气体而形成的浅层气囊;另一种是热成甲烷浅层气,是海底以下 2 000 m 的有机质在高温、高压作用下由干酪根裂解而形成的碳氢化合物,常形成超压状态的高压气囊,有时也沿着岩层孔隙、裂隙、断层面上升、运移、聚集成浅层气^[1-3]。

浅层气各组分结构简单、具有分子小、密度小、浮力大、黏度低、吸附能力小、扩散能力强等特点,赋存在地层中的浅层气改变了地层的力学性质,使其结构变松,强度降低^[4-7]。在外部荷载作用下,含气地层会发生蠕变,导致基础沉降或滑动。此外,具有良好盖层的浅层气,具有一定的压力,如果石油平台建设、钻井等海洋工程活动刺穿浅层气盖层,导致气体释放造成井喷事故。因此,查明工区内浅层气的分布特征对于海洋工程建设选址等具有重要意义。

1 浅层气的探测方法

浅层气赋存与海底地层中,浅层气的存在改变了海底地层的物理性质,使其孔隙度、密度等均发生了变化,因此可以通过探测含气地层与周围正常沉积地层的差异来探测浅层气的分布范围。声波是能够在海水中和地层中稳定地远距离传播的能量之一,因此声波探测技术是进行地层探测和浅层气识别的主要方法。目前,国内外探测浅层气使用的主要方法为声学地层剖面探测,包括浅地层剖面仪、单道地震等,通过声波反射特征来识别浅层气。

声波是能量传递的一种形式,在不同强度、结构和密度的介质中,声波的传播速度、频谱成分和能量衰减等波场特征都会变化^[8]。

收稿日期: 2020-04-23

资助项目: 中国石油天然气集团有限公司科学与技术开发项目——海洋油气管道设计施工关键技术研究(2019B-3010)

作者简介: 杨肖迪(1989-),男,工程师,硕士,主要从事海洋工程勘察方法等方面研究. E-mail: yangxiaodi1989@126.com

(李 燕 编辑)

声波在水体和地层中的传播的波动方程^[9]为

$$\begin{cases} \rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial z} + \rho F_x \\ \rho \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} = \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{yz}}{\partial z} + \rho F_y, \\ \rho \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = \frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} + \rho F_z \end{cases}, \quad (1)$$

式中, t 为时间; ρ 为介质的密度; u, v, w 分别为 x, y, z 方向的位移; $\sigma_{xx}, \sigma_{xy}, \sigma_{xz}, \sigma_{yy}, \sigma_{yz}, \sigma_{zz}$ 为应力; F_x, F_y, F_z 分别为 x, y, z 方向的外力。

用矢量表示的均匀、各向同性的理想弹性介质中的三维波动方程^[9]为:

$$\rho \frac{\partial^2 \mathbf{S}}{\partial t^2} = (\lambda + \mu) \operatorname{grad} \theta + \mu \nabla^2 \mathbf{S} + \rho \mathbf{F}, \quad (2)$$

式中, $\mathbf{F} = F_x \mathbf{i} + F_y \mathbf{j} + F_z \mathbf{k}$ 为外力矢量, $\mathbf{S} = u \mathbf{i} + v \mathbf{j} + w \mathbf{k}$ 为位移矢量, $\operatorname{grad} \theta = \frac{\partial \theta}{\partial x} \mathbf{i} + \frac{\partial \theta}{\partial y} \mathbf{j} + \frac{\partial \theta}{\partial z} \mathbf{k}$ 为梯度矢量, ∇^2 为拉普拉斯算子, ρ 为介质的密度, λ 和 μ 为拉梅常数, t 为时间。将式(2)改写为平面谐波方程:

$$p(x_i, t) = p_0 \sin \left(\frac{2\pi x_i}{\lambda} - \omega t + \phi \right), \quad (3)$$

式中, t 为时间, p 为时间域的声波信号, p_0 为声波振幅, λ 为波长, $\omega = 2\pi f$ 为角频率, ϕ 为相移。在浅地层剖面探测中, 换能器激发的声波可视为多个简谐波的叠加。

介质对声波的改变称为波阻抗, 为介质的密度 ρ 与声速 v 的乘积, 声波在穿透相邻不同介质的界面时, 会发生反射和透射。声波的反射能量以反射系数 R 表征, 反射系数为

$$R = \frac{\rho_2 v_2 - \rho_1 v_1}{\rho_2 v_2 + \rho_1 v_1}, \quad (4)$$

式中, ρ_1, v_1, ρ_2, v_2 分别为界面上层介质的密度、声速和界面下层介质的密度、声速。沉积环境不同的地层往往具有不同的物理力学性质, 而晚第四纪以来的沉积地层是海相沉积、陆相沉积交错, 相邻地层具有不同的波阻抗, 反射系数不为零。在浅地层剖面中, 不同地层界面处反射波同相轴清晰, 且相邻地层性质差异越大, 反射系数越大, 反射波能量越大(图 1)。

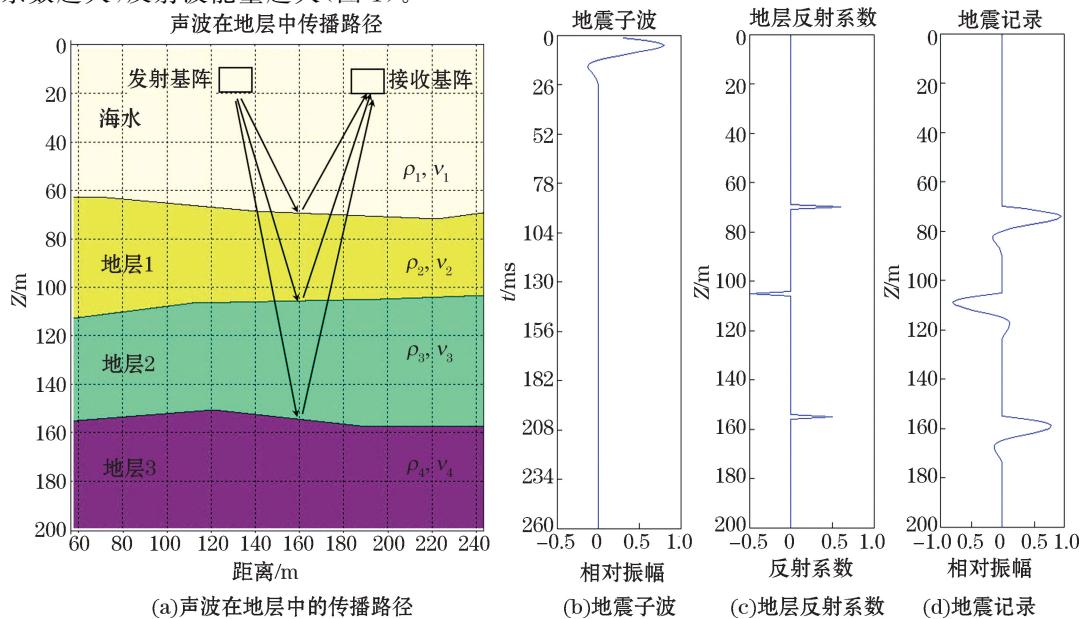


图 1 声学探测地层原理

Fig.1 Principle of acoustic detection of strata

2 浅层气的识别

浅层气形成聚集后,通常以4种形态:层状、团块状或柱状或气烟囱、高压气囊状、气底劈赋存与海底地层中^[10-12]。目前,国内外对于浅地层剖面上的浅层气识别通常是时间域的信息,如反射波振幅强度、同相轴连续性、反射波相位特征等,具体表现为:声空白、声浑浊、速度下拉、强反射顶界面等。而地层中浅层气的存在会对声波的频率进行滤波,使含气地层反射波的频率与正常地层反射波的频率存在差异。因此本文通过时间域和频率域的特征来识别浅层气(图2)。

声学地层剖面上浅层气的判别依据为:垂向上连贯的声学空白带、顶幕不规则的强反射、相位反转、频率异常。

2.1 声学空白

声学空白是指由上部连续或断续的较强的反射界面屏蔽下部地层反射信号所形成的屏蔽区。由于地层中含有浅层气,造成孔隙度较大,根据 Wyllie 方程^[13],地层声速与孔隙度和孔隙中流体的声速有关^[14-15]:

$$\frac{1}{v} = \frac{\phi}{v_f} + \frac{1-\phi}{v_r}, \quad (5)$$

式中, v 为地层中的实际声速, v_f 为地层孔隙中流速的声速, v_r 为地层中沉积物的声速, ϕ 为地层中的孔隙度。

由于含气地层中浅层气的声速远小于地层中沉积物的声速,所以随着地层中含气饱和度的增加,地层的声速也随之降低,地层的密度也随之降低。在正常沉积地层和含气地层界面处,反射系数 R 和透射系数 T 也会发生变化。

正常地层与含气地层界面处的反射系数与透射系数关系如图3所示。随着地层中孔隙度的增加(浅层气含量增加),反射系数为负值,但是绝对值增加,表明反射波强度会增加,但是反射波与入射波相位相反;透射系数减小,表明透过反射界面的透射波强度减少。所以声波向下传播到含气地层与正常地层界面时,绝大部分声波能量向上反射,只有少量声波能量向下继续传播,所以含气地层在声学地层剖面上表现为回波信号能量弱,为杂乱无规则的弱反射,正常地层反射波同相轴在此中断,与周围地层的反射波能量相比,表现为声学空白(图4)。

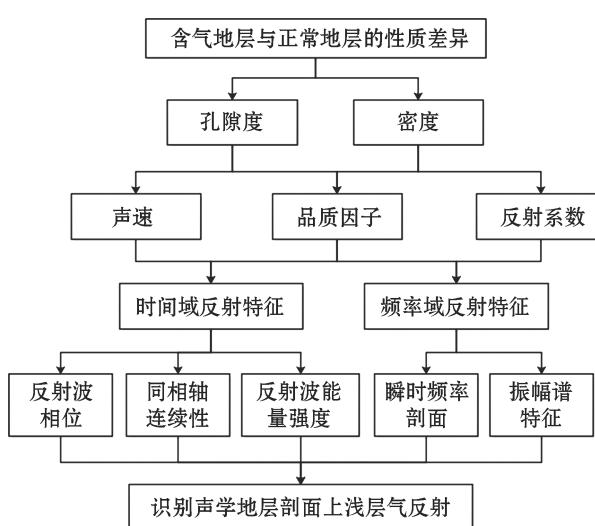


图2 浅层气识别方法

Fig.2 Method for shallow gas identification

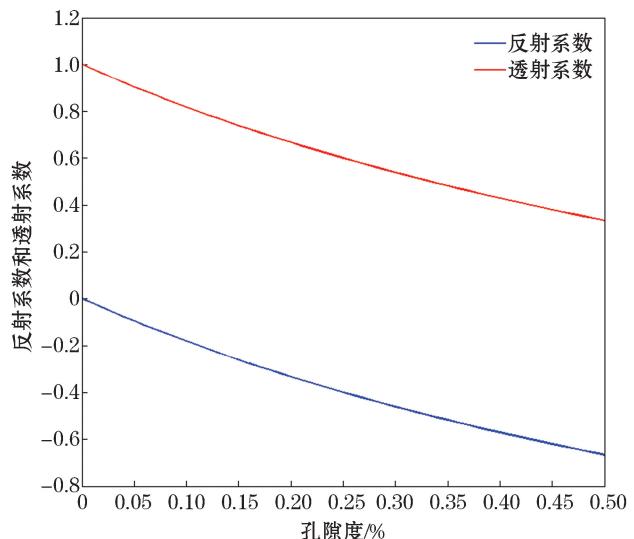


图3 反射系数和透射系数与沉积物孔隙度的关系

Fig.3 The relationship between the reflection and transmission coefficients and the porosity of strata

Fig.3 The relationship between the reflection and transmission coefficients and the porosity of strata

2.2 顶幕不规则强反射

由于浅层气浮力作用决定了气体只能上逸或侧向平移,气体在地层中的渗透极易造成载气区的不规则形态。浅层气顶部侵入正常地层内部,相对于海底和正常沉积的地层,浅层气顶部为不规则的锥形或弧形。当浅层气扩散进入地层内部,在地层内部形成含气区,假设含气地层的孔隙度为0.3,根据反射系数与孔隙度的关系,含气地层与周围正常地层界面处的反射系数约为-0.45,而正常地层内部沉积物较为均匀,反射系数绝对值通常小于0.1。所以,浅层气顶部的反射波强度要大于周围正常地层内部的反射波强度,并且相较于海底反射和地层反射等平滑的同相轴,浅层气顶部反射同相轴较杂乱(图5),形成了不规则强反射界面。

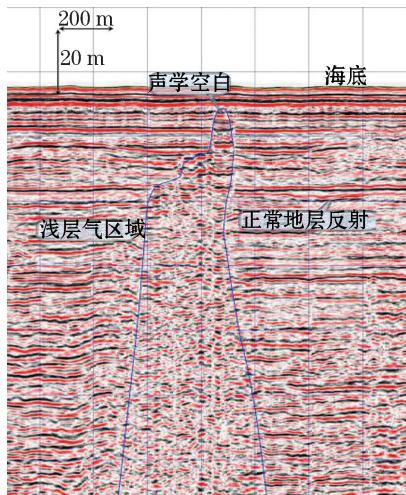


图4 浅层气形成的声学空白

Fig.4 The acoustic blank produced by shallow gases

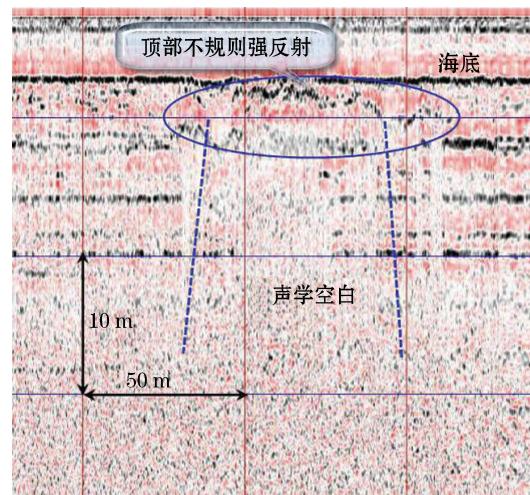


图5 浅层气顶部不规则强反射

Fig.5 The irregular strong reflections at the top of shallow gases

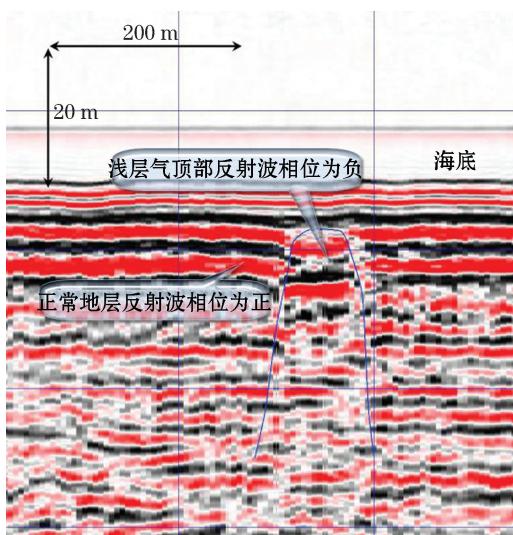


图6 浅层气顶部反射相位反转

Fig.6 Phase reversal of the reflections at the top of shallow gases

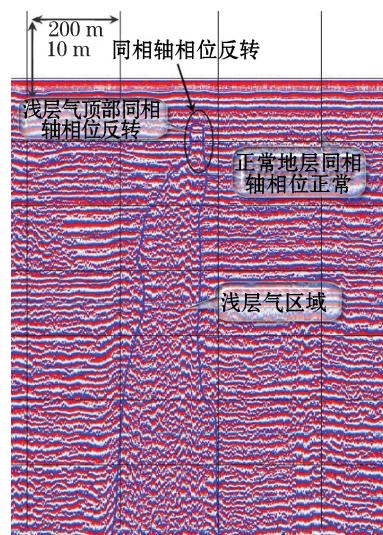


图7 瞬时相位剖面中的相位反转

Fig.7 The phase reversal in the instantaneous phase profiles

2.3 相位反转

由上述分析可知,含气地层与周围正常地层界面处的反射系数为负,表示界面处的反射波与入射波相位相反。渤海湾晚第四纪地层没有经历大的构造运动,正常沉积地层的声速和密度往往随着埋深的增加而逐渐增加,地层界面处的反射系数通常为正,表示界面处的入射波和反射波相位相同。所以在声学地层剖面上的同一时刻,在水平方向上浅层气顶部反射波的相位与周围正常地层的反射波的相位相反(图 6)。在浅层气顶部,周围正常沉积地层的同相轴波形振幅为正且连续性较好,在与浅层气界面处,同相轴波形相位发生反转,振幅为负,并且在浅层气区域内稳定延伸。对含气地层的声学地层剖面计算其瞬时相位剖面(图 7),在瞬时相位剖面中,正常地层的同相轴连续,同相轴相位为正,含气地层内部的同相轴杂乱,无明显相位。在浅层气顶部,正常地层同相轴在此错断,浅层气内部同相轴相位连续,但相位反转。

2.4 频率异常

频率异常是指由于地层吸收衰减造成浅层气反射波和正常地层反射波的频率成分存在差异。地层对声波的吸收衰减可用品质因子 Q 表示,其意义为声波在传播一个波长 λ 距离后,原来储存的能量 E 与所消耗的能量 ΔE 之比^[16]。用品质因子表示衰减因子为

$$Q = 2\pi \frac{E}{\Delta E} = 2\pi \frac{1}{1 - e^{-2\alpha\lambda}} = \frac{\pi f}{\alpha v}, \quad (6)$$

$$D_a = e^{-\frac{\pi f}{Q t}}, \quad (7)$$

式中, D_a 为衰减因子, f 为声波频率, t 为声波旅行时, v 为声波波速, α 为介质的吸收系数。品质因子 Q 与声波波速基本呈负相关的关系,由此可见,地层对高频成分的衰减大于地层对低频成分的衰减,声波在声速慢的地层中衰减大于声波在声速快的地层中的衰减。

在含气地层中,由于孔隙度较高,地层的声速小于周围正常沉积地层的声速,对声波的吸收衰减大,同时对高频成分的吸收衰减比对低频的吸收衰减严重^[17-18],所以在声学地层剖面中,含气地层与周围正常地层相比存在频率异常,即高频成分相对较弱。分别对剖面中浅层气反射和正常地层反射进行傅里叶变换,得到其对应的频谱。浅层气反射的频谱中低频部分振幅能量正常,高频部分振幅能量接近零;正常地层反射的频谱中低频部分振幅能量正常,高频部分振幅能量也正常(图 8)。

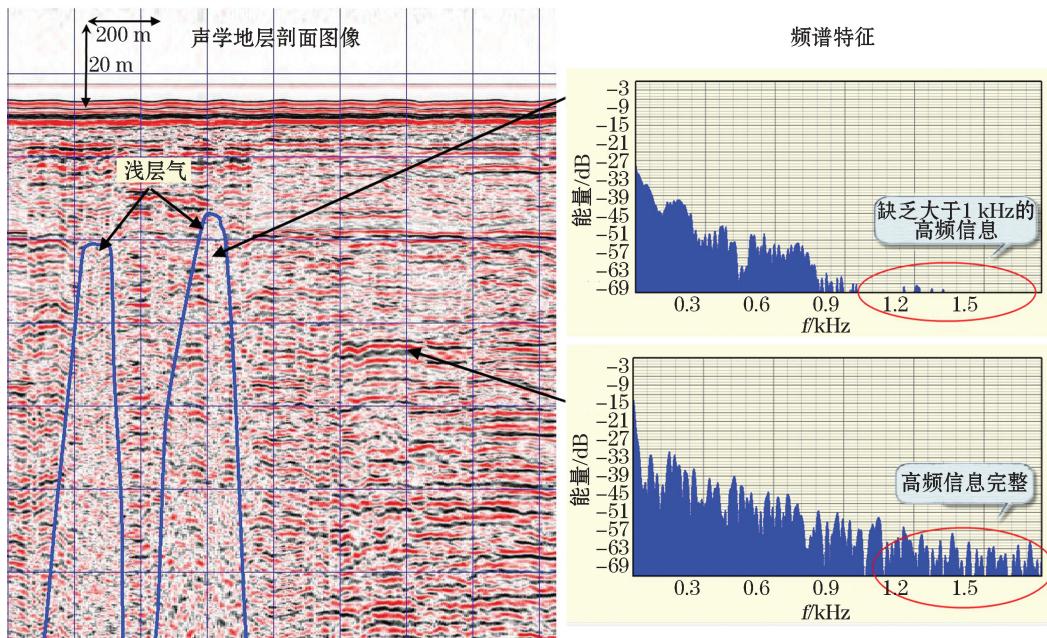


图 8 浅层气反射和正常地层反射的频率差异

Fig.8 Differences of reflection frequency between the shallow gases and the normal strata

从图 8 中可以看出,正常地层的反射同相轴呈平行状连续分布,在其频谱中频率主要分布在 0.1~1.9 kHz,各种频率分布比较均衡,振幅谱的包络线较平滑;含气地层的反射同相轴呈无规则的杂乱状,与周围正常地层的反射同相轴相比振幅能量较弱,在其频谱中频率主要分布在 0.1~1.0 kHz,与正常地层反射的频谱相比,缺失大于 1 kHz 的高频成分。

对含气地层的浅地层剖面计算其瞬时频率(图 9),可以看出在浅地层时间剖面中,含气地层反射为声学空白,呈气烟囱状。瞬时频率剖面中出现较多的低频,在时间剖面中同相轴连续性较好的区域,其瞬时频率表现为较清晰的同相轴,同时夹杂着部分零星分布的低频成分;在声学空白区域,同相轴为杂乱状,其瞬时频率表现为集中的呈片状的无规则低频成分,缺失高频成分,并且频率明显低于其他区域的低频,表明含气地层对声波的高频成分具有严重的吸收衰减作用,经过含气地层后反射回波中低频成分占优,高频缺失。

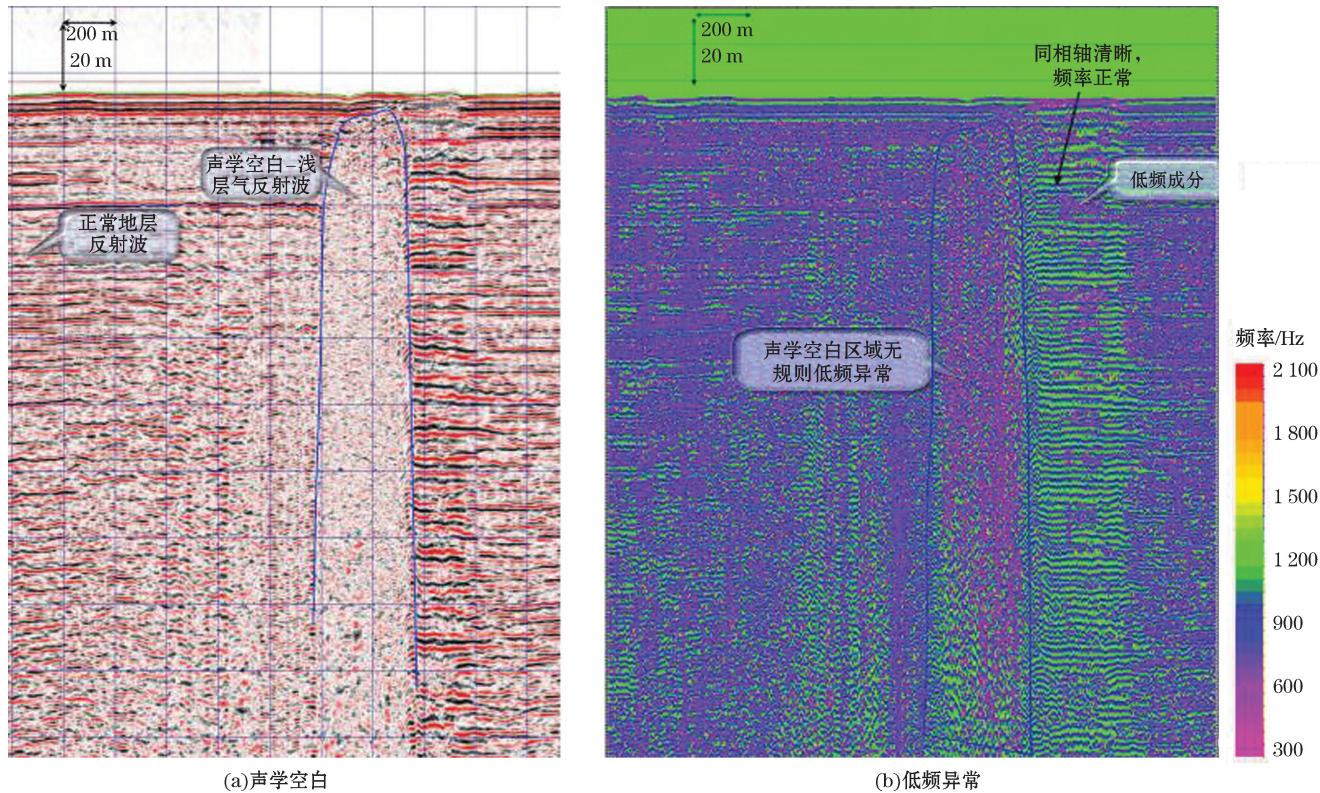


图 9 在时间剖面中的声学空白和瞬时频率剖面中的低频异常

Fig.9 The acoustic blank in a time profile and the low-frequency abnormal in an instantaneous frequency profile

3 工程案例

渤海湾某石油平台前期发现平台周围海底有气泡逸出海面。经侧扫声呐勘察和潜水员探摸后,在声呐图像上发现水体中有明显的似流体状反射特征,与海底的连接性较好,疑似海底逸出的气泡(图 10),确认了平台周围海底存在浅层气。为了平台安全考虑,评估平台周围浅层气分布情况,对平台周围 $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ 区域进行了地层剖面调查,分析浅层气的分布范围。

在地层剖面中可见呈“锥状/柱状/烟囱状”的浅层气反射,其内部为杂乱的空白反射,正常地层的反射波同相轴在此中断,顶部为不规则强反射。浅层气反射纵向延续深度较大,在地层剖面范围内未见其底部。同时,在地层剖面上还存在着同相轴错断现象,即为拉张断层。在剖面内,断层和浅层气无交集(图 11)。

平台周围浅层气和断层的分布特征如图 12 所示。在平台周围分布有 6 条平行状分布的拉张正断层,浅层气聚集区域主要分布在 F3 和 F5 断层之间,成规模聚集、连片状分布,少部分浅层气聚集区域与断层重

叠。浅层气的顶部埋深1~3 m,断层顶面埋深30~85 m。

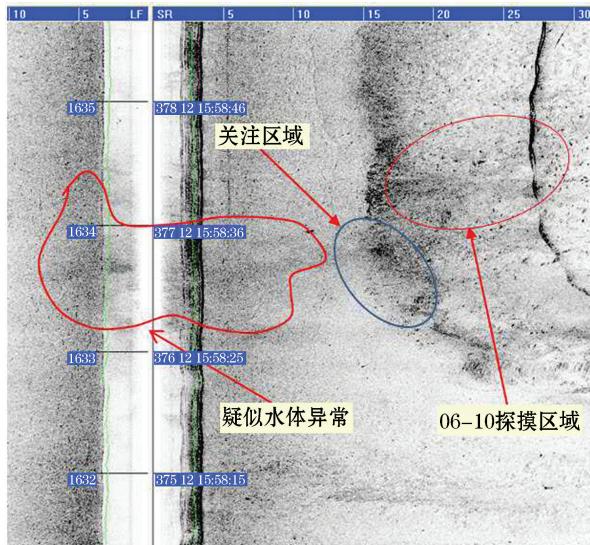


图10 声呐图像中水体异常反射

Fig.10 The abnormal reflections of water body in a sonar image

根据平台周围的钻孔资料,海底以下14 m主要是较软的淤泥和黏土,海底以下14~120 m主要为密实粉砂和硬黏土互层,含有少量的腐殖质黏土夹层,不利于浅层气的生成、保存。形成声学空白的浅层气区被认为有可能是源自深部的气体沿孔隙、裂隙上升到海底浅层,而大规模的声学空白需要相对较多的气体持续补充才能维持其形态^[19]。在声学地层剖面上浅层气呈“锥状/柱状/烟囱状”,是浅层气垂向运移通道的特征。海底浅层沉积物为的粉砂和黏土,孔隙度相对较高,气体扩散能力较强,有利于气体向上运移。因此,平台周围地层中的浅层气可能来源于深部。在断层附近聚集的浅层气有可能是沿着断层向上运移到海底浅层的。

浅层气在平台周围呈片状聚集的具体原因还需要结合钻孔取样进行气体成分分析才能判断,从而采取相应的主动措施来保障平台安全。平台周围地层中聚集浅层气会使地层承载力下降,平台可能会发生沉降,应加强监测。

4 结 论

通过分析含气地层的物理性质以及浅层气在声学地层剖面上的反射特征,提出了一种浅层气识别方法,并结合具体工程识别圈定了浅层气的分布特征。得到主要结论如下:

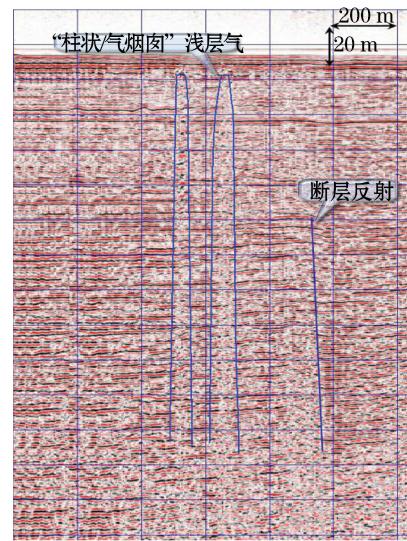


图11 平台周围浅地层剖面上断层与浅层气的关系

Fig.11 The relation between the shallow gas and the faults in an acoustic profile around the platform

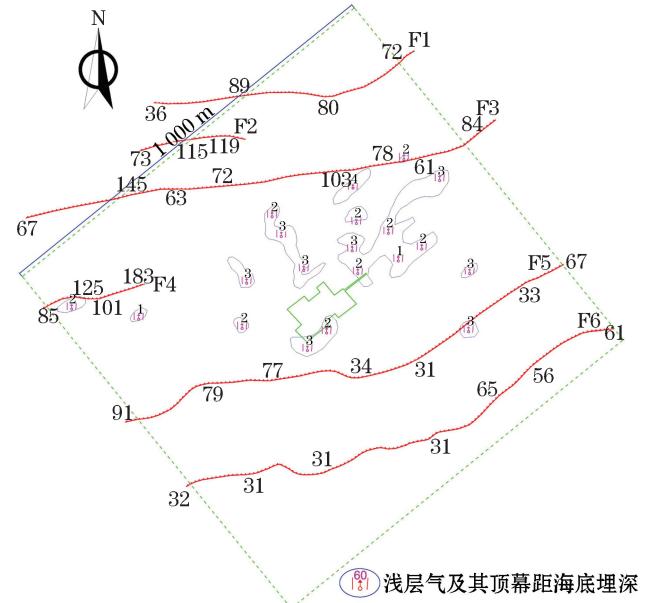


图12 平台周围浅层气和断层的分布

Fig.12 The distribution of shallow gas and faults around the platform

1)地层中含有浅层气时孔隙度增加,密度减小,声波波速降低,导致波阻抗减小。

2)含气地层与周围地层之间的界面为强反射界面,浅层气顶幕为不规则的强反射,其下部的含气地层为杂乱的空白反射,表现为柱状、团块状、层状的气囊,与周围地层反射同相轴界限明显。同时含气地层对声波中高频成分吸收衰减较严重,对声波中低频成分的吸收衰减较轻微,致使含气地层反射中缺乏高频成分。

3)通过地层剖面探测查明了渤海湾某平台周围浅层气和断层的分布特征,平台周围浅层气成规模聚集分布与断层相关性不大,需要结合前期地质资料和取样分析来判断其成因,以便采取相应的处理措施来保障平台安全。

参考文献(References):

- [1] WANG H P, ZHANG W, LI C L, et al. High resolution seismic identification of seafloor shallow geological hazards[J]. Marine Sciences, 2014, 38(7): 103-109. 王海平, 张伟, 李春雷, 等. 海底浅层地质灾害的高分辨率地震识别技术[J]. 海洋科学, 2014, 38(7): 103-109.
- [2] YE Y C, CHEN J R, PAN G F, et al. A study of formation cause, existing characteristics of the shallow gas and its danger to engineering [J]. Donghai Marine Science, 2003, 21(1): 27-36. 叶银灿, 陈俊仁, 潘国富, 等. 海底浅层气的成因、赋存特征及其对工程的危害[J]. 东海海洋, 2003, 21(1): 27-36.
- [3] LI P, DU J, LIU L J, et al. Distribution characteristics of the shallow gas in Chinese offshore seabed[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2010, 21(1): 69-74. 李萍, 杜军, 刘乐军, 等. 我国近海海底浅层气分布特征[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2010, 21(1): 69-74.
- [4] SONG Z J, ZHANG Z X, LIU L. Identification of geological hazards in the South Yellow Sea[J]. Marine Geology Frontiers, 2003, 19(4): 8-11. 宋召军, 张志珣, 刘立. 南黄海海底地质灾害因素的识别[J]. 海洋地质动态, 2003, 19(4): 8-11.
- [5] SHANG J J, SHA Z B, LIANG J Q, et al. Acoustic reflections of shallow gas on the northern slope of South China Sea and implications for gas hydrate exploration[J]. Marine Geology Frontiers, 2013, 29(10): 23-30. 尚久靖, 沙志彬, 梁金强, 等. 南海北部陆坡某海域浅层气的声学特征及其对水合物勘探的指示意义[J]. 海洋地质动态, 2013, 29(10): 23-30.
- [6] WANG Y, KONG L W, GUO A G, et al. Occurrence characteristics and unsaturated parameters prediction of shallow gassy sand[J]. Rock and Soil Mechanics, 2011, 32(7): 1945-1950. 王勇, 孔令伟, 郭爱国, 等. 含浅层气砂土的赋存特征及其非饱和参数预测[J]. 岩土力学, 2011, 32(7): 1945-1950.
- [7] WHELAN N T, COHMEN J M, SUHAYDA J N, et al. Acoustical penetration and shear strength in gas-charged sediment[J]. Marine Geotechnology, 1997, 2(1-4): 147-159.
- [8] YANG X D, YAO Z G, CHUN M H, et al. Research of detection of subsea well[J]. Coastal Engineering, 2019, 38(3): 232-239. 杨肖迪, 姚志广, 淳明浩, 等. 水下井口探测技术研究[J]. 海岸工程, 2019, 38(3): 232-239.
- [9] LEI W, XIAO H Y, DENG Y Q. Principle of engineering and environmental geophysical exploration[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2007: 8-17. 雷宛, 肖宏跃, 邓一谦. 工程与环境物探教程[M]. 北京: 地质出版社, 2007: 8-17.
- [10] GU Z F, ZHANG Z X, LIU H S, et al. Shallow geological background of shallow gas in the western South Yellow Sea[J]. Marine Sciences, 2008, 32(7): 46-51. 顾兆峰, 张志珣, 刘怀山, 等. 南黄海西部地区浅层气的浅部埋藏地质背景[J]. 海洋科学, 2008, 32(7): 46-51.
- [11] JUDD A G, HOVLAND M. The evidence of shallow gas in marine sediments[J]. Continental shelf research, 1992, 12(10): 1081-1095.
- [12] CHEN J R, LI T H. Types and distribution principle of geological disasters in the South China Sea[J]. Journal of Geology, 1993, 67 (1): 76-85. 陈俊仁, 李廷桓. 南海地质灾害类型与分布规律[J]. 地质学报, 1993, 67(1): 76-85.
- [13] YANG J, ZHANG B L, ZHOU B, et al. Geological disaster acoustic wave identification and prediction technology of deep-water shallow gas[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2015, 37(1): 143-146. 杨进, 张百灵, 周波, 等. 深水浅层气地质灾害声波识别预测技术[J]. 石油钻采工艺, 2015, 37(1): 143-146.
- [14] LU S M. Seismic characteristic of two deep-water drilling hazards: shallow-water flow sands and gas hydrate[D]. Dallas, US: The University of Texas, 2003.
- [15] ZHANG Y. Estimation of seismic wave velocity by Xu-White model[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Natural Science Edition), 2005, 32(2): 188-195. 张扬. 利用 Xu-White 模型估算地震波速度[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2005, 32(2): 188-195.
- [16] MOU Y G, CHEN X H, LI G F, et al. Seismic data processing method[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2007: 19-22. 牟永光, 陈小红, 李国发, 等. 地震数据处理方法[M]. 北京: 石油工业出版社, 2007: 19-22.

- [17] LU L. Shallow geological disaster prediction and evaluation of safety operation in the marine of deep water drilling[D]. Jingzhou: Yangtze University, 2014. 卢蕾. 海洋深水钻井浅层地质灾害预测与安全作业评估[D]. 荆州: 长江大学, 2014.
- [18] ZHANG X L, ZHANG G M, YANG S H, et al. Seismic hydrocarbon detection technique and its application in identification of shallow gas in Dagang Oilfield[J]. Natural Gas Geoscience, 2013, 24(4): 815-820. 张秀丽, 张桂明, 杨树合, 等. 地震油气检测技术在大港油田浅层气识别中的应用[J]. 天然气地球科学, 2013, 24(4): 815-820.
- [19] GU Z F, LIU H S, LI G, et al. Genesis of shallow gas in the western area of the South Yellow Sea[J]. Natural Gas Industry, 2009, 29(1): 26-29. 顾兆峰, 刘怀山, 李刚, 等. 南黄海西部地区浅层气成因[J]. 天然气工业, 2009, 29(1): 26-29.

Study on the Methods for Detection and Identification of Sub-seabed Shallow Gases

YANG Xiao-di^{1,2}, MA Rui-min³, LUO Xiao-qiao^{1,2}, YAO Zhi-guang^{1,2}

(1. CNPC Research Institute of Engineering Technology, Tianjin 300450, China;

2. CNPC Key Laboratory of Marine Engineering, Tianjin 300450, China;

3. Drilling engineering division of Offshore Engineering Company Limited of CNPC, Tianjin 300450, China)

Abstract: Shallow gas aggregation in submarine strata may reduce the strength of the strata or form gas cells with a high pressure, due to which the marine engineering constructions may possibly be endangered. Therefore, it is of great significance to ascertain the distribution of sub-seabed shallow gases in the construction areas. The acoustic waves could be the major approach for detecting the submarine shallow gases because they can travel steadily for a long distance in the seawater. Due to their high porosity and small density, the gas-bearing strata can cause the reduction of velocity and impedance of the acoustic waves and make the high-frequency part of the acoustic waves be absorbed and attenuated seriously. In addition, at the interface between the gas-bearing strata and the surrounding strata the acoustic waves can produce a larger reflection coefficient, resulting in a strong wave reflection boundary. As a result, the top boundary of the shallow gases often shows irregular strong reflections in the acoustic profiles, and below the top boundary disorderly and blank reflections lacking of high-frequency components occur often. A shallow-stratum profiling survey carried out surrounding an oil platform in the Bohai Bay indicates that there exist lamellar aggregated shallow gases and parallel-shaped faults around the platform. The shallow gases have no direct relations to the faults and they may probably source from the deep. Concerning their origin, previous geological and sampling data are needed for further analysis and judgement.

Key words: sub-seabed shallow gas; acoustic reflection characteristics; acoustic blank; phase reversal; Frequency anomaly; oil platform

Received: April 23, 2020