

基于 HITRAN 数据库的深海甲烷辐射光谱仿真研究

刘青松¹, 但有全¹, 杨鹏², 许罗鹏¹, 羊富彬¹, 邓楠¹

1. 中国民用航空飞行学院理学院, 四川 广汉 618307

2. 青岛海洋科学与技术试点国家实验室海洋观测与探测联合实验室, 山东 青岛 266200

摘要 研发能够精确、实时、原位获取热液甲烷数据的深海甲烷传感器对深海研究具有重要的意义。前期研制的两款深海甲烷光学成像干涉系统, 均利用甲烷辐射光谱开展甲烷状态参数探测和反演。首先, 以分子光谱辐射理论为基础, 建立了分子辐射光谱与浓度、温度、压强的理论关系式, 结合深海高压环境特点, 建立了基于 Lorentz 线型的深海分子辐射模型, 该模型为利用光谱法定量反演分子浓度、温度、压强等状态参数提供理论依据, 同时为深海分子光谱仿真提供有力工具。接着, 借助 HITRAN 分子光谱数据库提供的分子基本谱线参数, 挑选出甲烷成像干涉系统的光源谱线。对比 CH₄ 分子与 CO₂, H₂S, H₂O 等分子的特征吸收谱线, 在 5 990~6 150 cm⁻¹ 波段范围内, CH₄ 谱线强度比 CO₂, H₂S, H₂O 等三种干扰分子的谱线强度约高 2~3 个数量级, 且此波段内甲烷六条有效谱线分布均匀, 谱线间距皆约为 2~3 nm, 非常适合采用光谱法进行分子状态参数探测, 因此选择谱线干扰较弱、谱线分布均匀、谱线间距适中的甲烷六条谱线 (1 640.37, 1 642.91, 1 645.56, 1 648.23, 1 650.96 和 1 653.72 nm) 作为甲烷成像干涉探测系统的目标光源谱线。最后, 基于深海分子辐射模型和 HITRAN 数据库的甲烷分子基本谱线参数, 人工合成了甲烷任意浓度, 任意温度和任意压强的辐射光谱数据, 并分析了甲烷辐射光谱随浓度、温度和压强的变化特征。对于单一中心谱线, 甲烷分子辐亮度随着浓度的升高而线性增大, 随着温度的升高而非线性增大, 随着压强的升高而非线性减小。对于全波段谱线, 甲烷辐射光谱的全线宽随着浓度、温度的升高而变宽, 随着压强的升高而变窄。建立的深海甲烷辐射光谱理论和仿真分析结果, 可以为基于光谱法的海洋原位甲烷传感器的研制和数据反演提供数据支撑和理论依据。

关键词 热液甲烷; 辐射光谱; HITRAN 分子光谱数据库; 成像干涉

中图分类号: O433.3 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2022)09-2714-06

引言

深海热液、冷泉、麻坑、水合物成藏等海洋活动, 是海洋及大气中甲烷的重要来源, 也是目前国际深海前沿研究的热点^[1]。海底热液伴随有大量甲烷气泡喷发, 但其所处的高温高压极端环境, 给热液甲烷高精度、高时空、多参数的探测造成一定难度。因此, 研发能够精确、实时、原位获取热液甲烷数据的深海甲烷传感器, 对海洋活动和矿产开发等深海科学和工程具有重要的意义。

目前能够在深海进行海水甲烷含量检测的原位传感器相对较少^[2-3], 尤其是能够用于深海热液甲烷探测的传感器更为稀缺。我们前期提出了一种光学被动成像干涉系统用于深

海热液甲烷的探测^[4], 一种光学主动成像干涉系统用于海底可燃冰的探测^[5], 为海洋甲烷探测研究和传感器研制提供了光学参考方法。该方法主要利用甲烷的辐射光谱及其干涉效应进行甲烷浓度、温度和压强信息的同机探测, 在光学系统设计和系统仿真过程中, 需要定量、精确、全面的光源光谱信息。HITRAN (high resolution transmission molecular spectroscopic database) 是常用的分子光谱数据库, 到目前为止 HITRAN2016 已经可以提供 49 种分子的谱线参数^[6], 包括谱线位置、强度、半宽度、跃迁的高能态能量和低能级能量、振动和转动能级识别、分子与同位素识别符等基本参数, 但无法提供探测系统所需的任意浓度、温度、压强的多样量化光源光谱。因此, 本文提出一种深海分子辐射理论模型, 借助 HITRAN 光谱数据库, 仿真和分析了作为目标光源的

收稿日期: 2021-08-08, **修订日期:** 2021-11-17

基金项目: 国家自然科学基金项目 (U1433127), 四川省教育厅项目 (16ZB0034), 中国民用航空飞行学院科研基金项目 (J2020-057, J2020-060, JG2019-19) 资助

作者简介: 刘青松, 1991 年生, 中国民用航空飞行学院讲师 e-mail: lqs@cafuc.edu.cn

深海甲烷光谱, 为深海甲烷光学探测系统的研制和数据反演提供一定的理论依据。

1 深海分子辐射模型

1.1 分子辐射模型

根据基尔霍夫定律和 HITRAN 数据库的理论和实验成果可知分子辐亮度为

$$L(\lambda, C, T, P, d) = AF(\lambda, C, T, P, d)L_{\text{BB}}(\lambda, T) \quad (1)$$

式(1)中, L 为辐射亮度, L_{BB} 是黑体辐亮度, AF 是吸收函数, d 为光学吸收长度。吸收函数 AF 可利用实验测量得到的透射函数 TR 求得

$$AF(\lambda, C, T, P, d) = 1 - TR(\lambda, C, T, P, d) \quad (2)$$

由朗伯定律可知, 利用透射函数还可以计算分子吸收系数 K_{ab} 。

$$TR(\lambda, C, T, P, d) = \exp(-K_{\text{ab}}(\lambda, C, T, P)d) \quad (3)$$

由式(1)~式(3)可知, 分子辐亮度与浓度、温度和压强的关系可以表示为

$$L(\lambda, C, T, P, d) = (1 - \exp(-K_{\text{ab}}(\lambda, C, T, P)d)) \cdot \frac{2c^2 h}{\lambda^5} \left(\exp\left(\frac{hc}{k\lambda T}\right) - 1 \right)^{-1} \quad (4)$$

式(4)中, L 为辐射亮度, K_{ab} 为分子吸收系数, d 为吸收光程。

1.2 深海谱线参数

深海区域处于高压状态下, 稠密分子间频繁的碰撞, 导致发射辐射相位的无规则变化。根据谱线压力展宽理论, 深海分子谱线线型函数应采用谱线半宽与温度、压强有关的 Lorentz 线型函数 Φ_L 。

$$\Phi_L(\nu_0, \nu) = \frac{1}{\pi} \frac{a_L}{(\nu_0 - \nu)^2 + a_L^2} \quad (5)$$

式(5)中, 任意温度 T , 压力 P 下的洛伦兹线宽 a_L 可以表示为

$$a_L(T, P) = [(1 - q)\alpha_{\text{Lair}} + q\alpha_{\text{Lsef}}] \frac{P}{P_{\text{ref}}} \left(\frac{T_{\text{ref}}}{T} \right)^n \quad (6)$$

式(6)中, T_{ref} 为参考温度, P_{ref} 为参考压力, α_{Lair} 为空气展宽, α_{Lsef} 为气体的自展宽, n 为空气展宽随温度变化的参数, q 为分子所占的体积比(分压比)。

分子吸收截面 σ 可以用谱线强度 S 和线型函数 Φ 表示

$$\sigma(\lambda, T, P) = S(T)\Phi(\lambda, T, P) \quad (7)$$

根据量子力学和分子振-转能级跃迁理论, 某一温度 T 下, 转动量子数 J 对应的分子谱线强度 S 可以表示为式(8)^[7], 也可从 HITRAN 数据库内提取任意温度的分子谱线强度。

$$S(T, J) = \frac{8\pi^3 I}{3hc} \nu_j \frac{g}{Q_T} \exp\left(-\frac{hcE_J}{kT}\right) \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{hc\nu_j}{kT}\right) \right] R_g^2 F_m H_J \quad (8)$$

式(8)中, I 是分子的同位素丰度, h 是普朗克常数, c 是真空中光速, ν_j 是从低能级到高能级的跃迁波数, g 是核自旋简并因子, Q_T 是配分函数, E_J 是低能级的能量, k 是玻尔兹曼

常数, R_v 是无转动跃迁偶极矩, H_J 是 Honl-London 因子, F_m 是 Herman-Wallis 因子, 该因子是考虑振转相互作用的影响, $m = -J, J, J+1$ 。

分子吸收系数 K_{ab} 与吸收截面 σ 和分子数密度 N 的理论关系^[8]为

$$K_{\text{ab}}(\lambda, c, T, P) = \sigma(\lambda, T, P)N = \sigma(\lambda, T, P)cN_A \quad (9)$$

式(9)中, σ 为吸收截面, N 为分子数密度, c 为水中分子浓度。

将深海分子吸收系数式(9)代入分子辐亮度式(4), 便可仿真合成任意浓度、温度和压强的深海分子辐射光谱。

2 甲烷光源谱线挑选

分子中除了有电子运动外, 还存在着各原子核的振动以及分子整体的转动, 因此分子光谱往往是由对应的电子能级、振动能级和转动能级跃迁形成的带状光谱。分子内原子间的价电子由化学键的合力相互连接, 化学键强度相对较弱的振动-转动跃迁较为容易发生, 且大多数分子的化学键都具有红外活性, 加之分子结构的不同, 每种分子便形成了独一无二的红外吸收光谱。

为了保证探测系统具有较高的灵敏度, 需要选择吸收效应相对较强, 且重叠干扰较小的吸收谱线作为光源谱线。甲烷分子的四个本征吸收峰均位于中红外波段, 但该波段的人工光源和探测器均需低温制冷, 很难用于深海在线、原位探测系统的研制。因此, 选择甲烷近红外波段的特征吸收峰作为光源谱线。

除了释放 CH_4 分子, 深海热液区域还存在 CO_2 , H_2S , H_2O 等分子^[9], 需对四种分子近红外区的吸收谱带进行比较, 避免吸收谱的重叠对甲烷探测造成较大干扰。从 HITRAN 数据库提取四种分子在 $5\,990 \sim 6\,150 \text{ cm}^{-1}$ 的谱线位置、强度信息, 如图 1 所示, CH_4 谱线强度为 10^{-21} 数量级, CO_2 和 H_2O 的谱线强度均为 10^{-24} 数量级, H_2S 的谱线强度为 10^{-23} 数量级, 总体上甲烷分子的谱线强度要比干扰分子的谱线强度约高 2~3 个数量级, 因此在此波段内挑选光源谱线较为理想。

另外, 前期提出的甲烷成像干涉系统主要利用干涉滤光片实现不同波长谱线的分离, 进而获取不同谱线的强度信息, 其除了要求各谱线具备相对较强的谱线强度外, 还要求谱线分布均匀, 谱线间距超过仪器分辨率。表 1 为从 HITRAN 数据库提取的, 甲烷分子在 $6\,040 \sim 6\,100 \text{ cm}^{-1}$ 波段范围内 296 K 时的谱线波长和谱线强度。由于每组内谱线间隔非常小, 一般光学仪器难以分辨, 因此将六组谱线视为六条有效谱线 (1 640.37, 1 642.91, 1 645.56, 1 648.23, 1 650.96 和 1 653.72 nm)。上述甲烷六条谱线, 谱线干扰较弱, 谱线分布均匀, 间距约为 2~3 nm, 干涉滤光片分辨率可以满足。因此, 将上述甲烷六条谱线作为甲烷成像干涉探测系统的目标光源谱线。

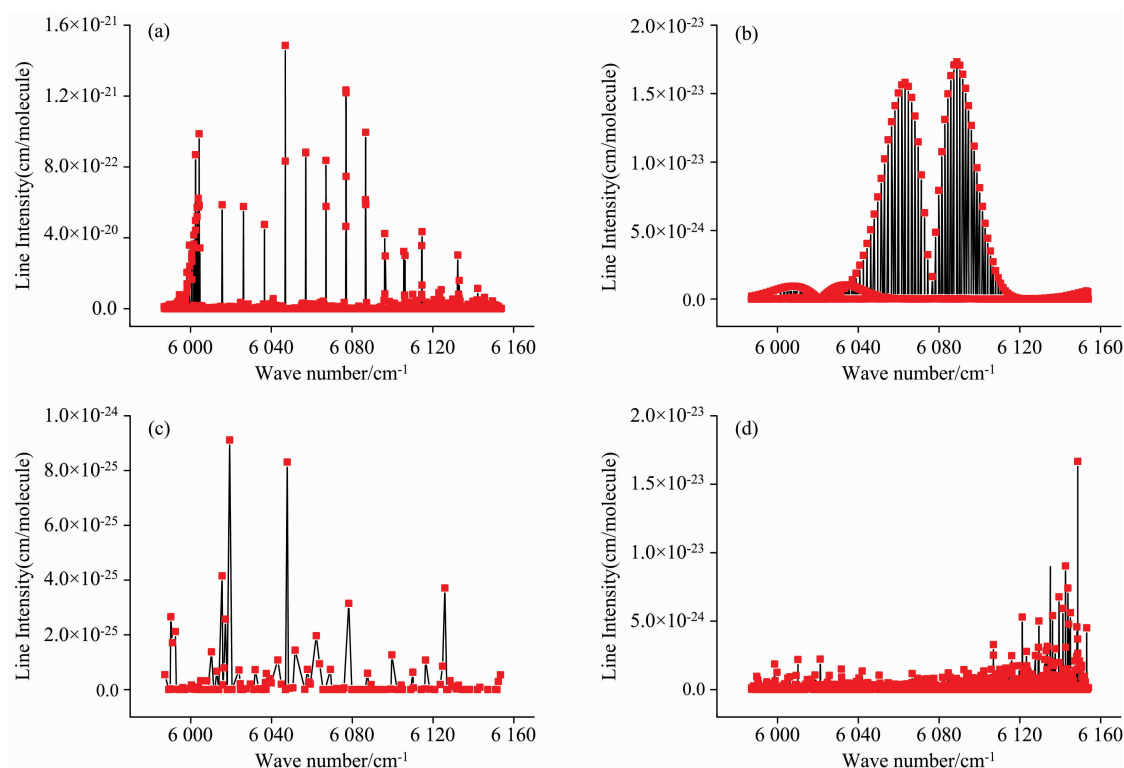


图 1 四种分子在 $5990\sim 6150\text{ cm}^{-1}$ 范围的谱线强度

(a): CH_4 ; (b): CO_2 ; (c): H_2O ; (d): H_2S

Fig. 1 Line intensities of four molecules at $5990\sim 6150\text{ cm}^{-1}$

(a): CH_4 ; (b): CO_2 ; (c): H_2O ; (d): H_2S

3 浓度、温度和压强对甲烷辐射光谱的影响

基于第 1 节提出的深海分子辐射模型, 借助 HITRAN 中提供的甲烷基本谱线参数, 人工合成深海甲烷不同浓度、温度和压强的辐射光谱, 图 2—图 4 分别为不同浓度、不同温度和不同压强下的甲烷中心谱线 1653.72 nm 的辐射亮度。

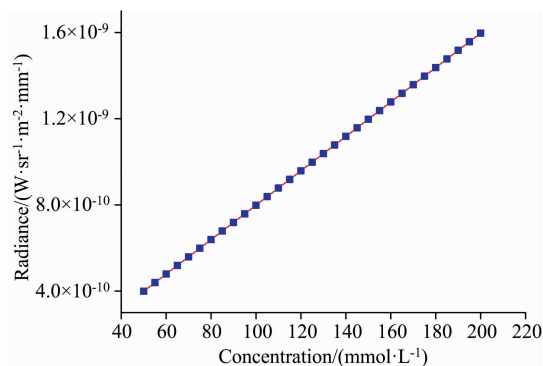


图 2 不同浓度甲烷谱线 1653.72 nm 的辐射亮度

Fig. 2 Radiance of 1653.72 nm line at 670 K and 20 MPa and varying concentration

表 1 甲烷在 $6040\sim 6100\text{ cm}^{-1}$ 范围的六组谱线的谱线强度

Table 1 Spectral intensities of six groups lines of methane at $6040\sim 6100\text{ cm}^{-1}$

	特征波数 / cm^{-1}	特征波长 / nm	谱线强度 / $(\text{cm}^2 \cdot \text{molecule}^{-1})$
第一组	6 046.942 9	1 653.728 2	8.325×10^{-22}
	6 046.952 2	1 653.725 7	8.325×10^{-22}
	6 046.963 6	1 653.722 5	1.486×10^{-21}
第二组	6 057.079 5	1 650.960 7	1.501×10^{-21}
	6 057.090 8	1 650.957 6	8.799×10^{-22}
	6 057.099 6	1 650.955 2	5.835×10^{-22}
第三组	6 057.126 9	1 650.947 7	8.839×10^{-22}
	6 067.081 0	1 648.239 1	8.372×10^{-22}
	6 067.099 1	1 648.234 2	8.518×10^{-22}
第四组	6 067.147 0	1 648.221 1	5.770×10^{-22}
	6 067.155 8	1 648.218 8	8.223×10^{-22}
	6 076.953 1	1 645.561 5	1.234×10^{-21}
第五组	6 076.927 2	1 645.568 5	4.654×10^{-22}
	6 076.934 1	1 645.566 6	7.687×10^{-22}
	6 077.027 8	1 645.541 3	7.467×10^{-22}
第六组	6 077.046 4	1 645.536 2	7.118×10^{-22}
	6 077.063 0	1 645.531 7	1.219×10^{-21}
	6 086.744 6	1 642.914 3	9.957×10^{-22}
第七组	6 086.779 3	1 642.905 0	5.875×10^{-22}
	6 086.798 8	1 642.899 7	3.992×10^{-22}
	6 086.830 1	1 642.891 3	5.908×10^{-22}

续表 1

第六组	6 096.168 0	1 640.374 7	8.400×10^{-22}
	6 096.177 7	1 640.372 1	4.240×10^{-22}
	6 096.179 7	1 640.371 6	2.954×10^{-22}
	6 096.372 6	1 640.319 7	4.536×10^{-22}
	6 096.423 8	1 640.305 9	4.473×10^{-22}
	6 096.484 9	1 640.289 5	2.972×10^{-22}
	6 096.501 0	1 640.285 1	4.438×10^{-22}

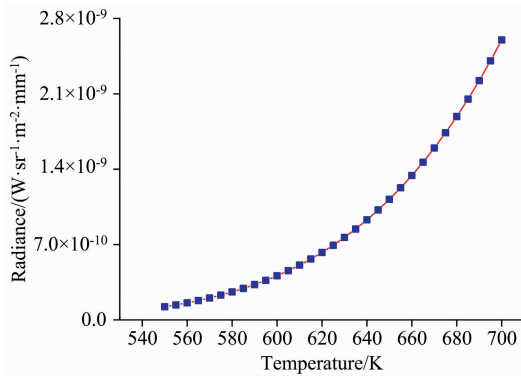


图 3 不同温度甲烷 1 653.72 nm 谱线的辐射亮度
 Fig. 3 Radiance of 1 653.72 nm line at 200 mmol · L⁻¹ and 20 MPa and varying temperature

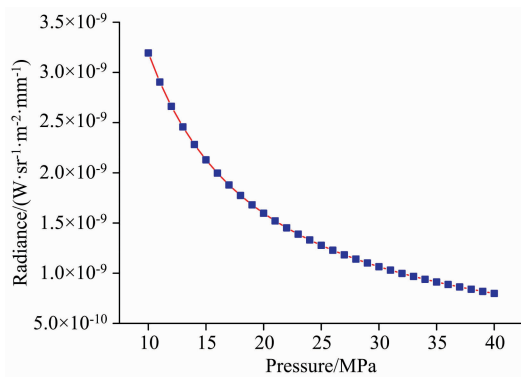


图 4 不同压强甲烷 1 653.72 nm 谱线的辐射亮度
 Fig. 4 Radiance of 1 653.72 nm line at 200 mmol · L⁻¹ and 670 K and varying pressure

由图 2 可见，当温度和压强一定时，甲烷分子辐亮度随着气体浓度的升高而增大，而且呈线性变化关系，主要是因为分子吸收系数与浓度成线性关系，如式(9)。由图 3 可见，当浓度和压强一定时，甲烷分子辐亮度随着温度的升高而增大，符合黑体辐射定律，但呈非线性变化关系，主要是因为谱线强度、谱线线型、普朗克函数等均与温度有关。由图 4 可见，当浓度和温度一定时，甲烷分子辐亮度随着压强的升高反而减小，主要是由于稠密介质中，粒子发光过程易因碰撞导致湮灭。呈非线性变化关系，则是因为谱线线型、普朗克函数等均与压强有关。甲烷辐射光谱与浓度，温度和压强的理论表达式及变化特点，可以为甲烷状态参数反演算法的选择提供参考依据。

另外，不同浓度、温度、压强下甲烷六条有效谱线的全谱光谱，如图 5—图 7。可以看出，全谱的甲烷辐亮度与单谱的甲烷辐亮度变化趋势相同，即都为光谱强度随着浓度、温度的升高而增大，随着压强的升高而减小。另外，甲烷辐射光谱的全线宽随着浓度、温度的升高而变宽，随着压强的升高而变窄。辐射谱线的全线宽越宽，不同分子谱线之间重叠的可能性也就越大，对于光学系统设计和多组分分子检测需要对此进行定量评估。

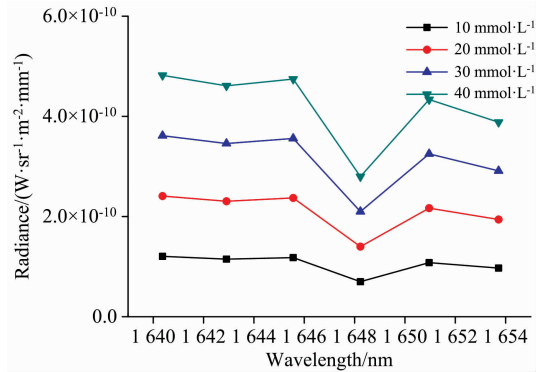


图 5 不同浓度甲烷六条有效谱线的辐射亮度
 Fig. 5 Radiances of six effective lines at 670 K and 20 MPa for various concentrations

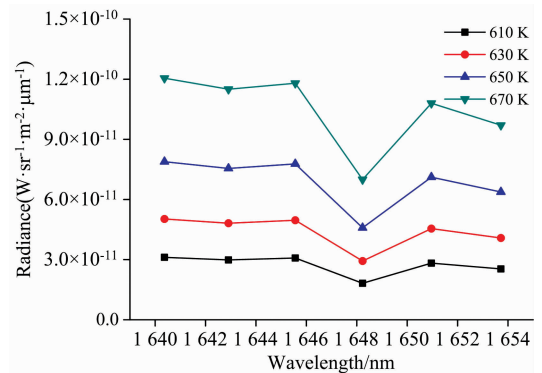


图 6 不同温度甲烷六条有效谱线的辐射亮度
 Fig. 6 Radiances of six effective lines at 10 mmol · L⁻¹ and 20 MPa for various temperatures

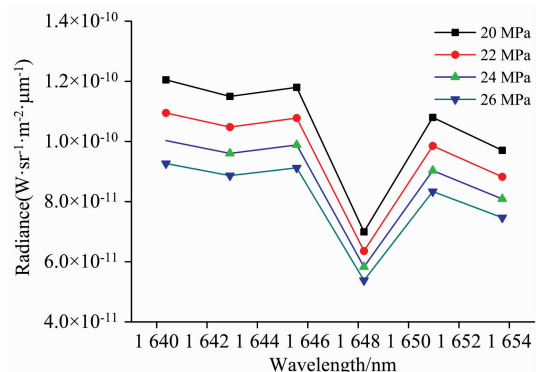


图 7 不同压强甲烷六条有效谱线的辐射亮度
 Fig. 7 Radiances of six effective lines at 10 mmol · L⁻¹ and 670 K for various pressures

综上, 甲烷辐射光谱同时受到浓度、温度和压强的影响, 其变化规律与已有文献相关结论一致, 佐证了本文提出的深海分子辐射理论模型的可靠性。在利用甲烷辐射光谱进行探测系统设计时, 根据热液区甲烷的浓度、温度和压强范围, 可定量计算光源光谱强度, 进而优化设计光学元件及系统参数。根据干扰分子的光谱信息, 定量评估系统的背景噪声, 进而为提高信噪比提供优化途径。在利用甲烷光谱进行多参数反演时, 可以利用分子光谱理论模型建立反演算法, 并为反演算法的优化和验证提供有力支撑工具。

4 结 论

利用 HITRAN 分子光谱数据库提供的光谱参数, 对比

了甲烷及其干扰分子的吸收谱线重叠区, 挑选甲烷辐射相对较强的六条谱线作为目标光源。结合分子辐射模型和深海谱线参数, 建立了深海分子辐射模型, 并计算得到了甲烷在任意浓度, 任意温度和任意压强的辐射光谱。最后分析了甲烷辐射光谱随浓度、温度和压强的变化特征, 甲烷分子辐射亮度随着浓度的升高而线性增大, 随着温度的升高而非线性增大, 随着压强的升高而非线性减小。深海甲烷辐射光谱的理论模型和仿真分析, 可以为海洋原位甲烷传感器的研制和数据反演提供理论依据。

References

- [1] ZHAO Guang-tao, XU Cui-ling, ZHANG Xiao-dong, et al(赵广涛, 徐翠玲, 张晓东, 等). Periodical of Ocean University of China(中国海洋大学学报), 2014, 44(12): 73.
- [2] SUN Chun-yan, ZHAO Hao, HE Hui-ce, et al(孙春岩, 赵浩, 贺会策, 等). Earth Science Frontiers(地学前缘), 2017, 24(6): 225.
- [3] Di P F, Feng D, Chen D F. Continental Shelf Research, 2014, 81: 80.
- [4] LIU Qing-song, HU Bing-liang, TANG Yuan-he, et al(刘青松, 胡炳樑, 唐远河, 等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2019, 39(8): 2415.
- [5] TANG Yuan-he, WANG Hao-xuan, LIU Qing-song, et al(唐远河, 王浩轩, 刘青松, 等). Optics and Precision Engineering(光学精密工程), 2018, 26(12): 2909.
- [6] Gordon I E, Rothman L S, Hill C, et al. Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer, 2017, 203: 3.
- [7] LIU Zhi-ming, LI Hai-ping, ZHANG Yu-guang, et al(刘志明, 李海平, 张玉广, 等). Chinese Journal of Spectroscopy Laboratory(光谱实验室), 2012, 29(1): 39.
- [8] TANG Yuan-he, WANG Shu-hua, CUI Jin, et al(唐远河, 王淑华, 崔进, 等). Acta Physica Sinica(物理学报), 2016, 65(18): 184201.
- [9] QIN Hua-wei, TAO Chen-chao, CAI Zhen, et al(秦华伟, 陶辰超, 蔡真, 等). Marine Science(海洋科学), 2016, 40(6): 119.

Simulation of Emission Spectrum of Abyssal Methane Based on HITRAN Database

LIU Qing-song¹, DAN You-quan¹, YANG Peng², XU Luo-peng¹, YANG Fu-bin¹, DENG Nan¹

1. School of Science, Civil Aviation Flight University of China, Guanghan 618307, China

2. Joint Laboratory for Ocean Observation and Detection, Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology (Qingdao), Qingdao 266200, China

Abstract The development of a deep-sea methane sensor that can accurately, in real-time and in-situ, obtain hydrothermal methane data is of great significance for deep-sea research. Previously, two kinds of optical imaging interference systems that use methane radiation spectrum to detect and retrieve methane state parameters have been proposed. Firstly, based on the molecular spectral radiation theory, the theoretical relationship between molecular radiation spectrum and concentration, temperature and pressure is established. Then, combined with the characteristics of a high-pressure deep-sea-environment, the deep-sea molecular radiation model based on the Lorentz spectra line is established. The model provides a theoretical basis for the inversion of state parameters such as molecular concentration, temperature and pressure by spectral legal quantity. At the same time, it provides a powerful tool for deep-sea molecular spectrum simulation. Then, with the help of the molecular basic spectral line parameters provided by the HITRAN molecular spectral database, the light source spectral line of the methane imaging interference system is selected. Comparing the characteristic absorption spectra of CH₄ molecule with CO₂, H₂S, H₂O and other molecules in the 5 990~6 150 cm⁻¹ band, the intensity of the CH₄ spectral line is about 2~3 orders of magnitude higher than

that of interfering molecules, and the six effective spectral lines of methane are evenly distributed in this band, with a spectral line spacing of about 2~3 nm, which is very suitable for temperature and other state parameters detection by the spectral method. Therefore, six methane spectral lines (1 640.37, 1 642.91, 1 645.56, 1 648.23, 1 650.96 and 1 653.72 nm) with weak spectral line interference, uniform spectral line distribution and moderate spectral line spacing are selected as the target light source spectral lines of methane imaging interference detection system. Finally, based on the deep-sea molecular radiation model and the basic spectral line parameters of methane in the HITRAN database, the radiation spectrum data of methane with arbitrary concentration, temperature and pressure are synthesized, and the variation characteristics of methane radiation spectrum with concentration, temperature and pressure are analyzed. For a single central spectral line, the radiance of methane molecules increases linearly with the increase of concentration, increases nonlinearly with the increase of temperature, and decreases nonlinearly with the increase of pressure. For the full band spectral line, the full width of the methane radiation spectrum widens with the increase of concentration and temperature and narrows with the increase of pressure. The theory and simulation results of the deep-sea methane radiation spectrum established in this paper can provide data support and a theoretical basis for developing and data inversion of marine in-situ methane sensors based on the spectral method.

Keywords Hydrothermal methane; Emission spectrum; HITRAN; Imaging interference

(Received Aug. 8, 2021; accepted Nov. 17, 2021)

(上接 2701)

论文摘要提交具体步骤

1. 请您在光谱网上(<http://www.sinospectroscopy.org.cn>)用真实姓名注册,注册系统已经设置认证功能,请用手机号码或邮箱注册。
2. 点击光谱网会议会展栏目,选择《第 22 届全国分子光谱学学术会议暨 2022 年光谱年会》。
3. 点击会议基本情况下的会议快捷通道中的“会议投稿”。
4. 输入用户名和密码登陆,在页面下选择稿件提交。
5. 按照提示提交稿件。

报告形式

为充分提高会议学术交流的效率,会议将采用“口头报告”和“墙报展示”两种方式进行学术交流。无论是口头报告还是墙报展示,均属大会同等学术交流。为尊重个人意见和便于组委会的安排,请大家在会议注册时,提交“口头报告”或“墙报”的题目。为了鼓励博士、硕士研究生积极参与学术交流活动,本次会议将继续设立“优秀青年论文奖”和“优秀墙报奖”,表彰那些研究水平高、能突出研究内容要点、条理清晰的“口头报告”和“墙报”,大会将给获奖作者颁发优秀论文证书和奖金。同时会议还将邀请国内外知名专家学者就光谱有关学术领域的前沿热点问题作大会报告和主题报告。

主要报告形式有:

1. 大会邀请报告:主要邀请国内外知名专家学者报告光谱分析的前沿技术在各个领域的最新研究进展。
2. 主题邀请报告:本次会议将选择光谱技术的热点应用领域,开设多个专题论坛,邀请在该领域的知名专家作论坛主题报告。
3. 口头报告:由参会代表申请、组委会审核方式确定报告人选。
4. 青年论坛报告:为博士、硕士研究生开设交流平台,并评选“优秀青年论文奖”。
5. 墙报展示:作为本次会议的主要交流和展示形式。会议统一安排墙报讲解时间,希望作者按时到位讲解。

重要时间

开通会议注册系统:2022 年 5 月 10 日

论文截稿日期:2022 年 6 月 30 日

第二轮会议通知:2022 年 5 月

第三轮会议通知:2022 年 10 月

会议召开期:2022 年 11 月 11 日—14 日

会议组织机构、注册费及缴纳方式、宾馆住宿介绍及住房预定等信息将在 2022 年 5 月初在会议主页上发布,请您经常浏览光谱网上会议主页,了解会议筹备情况和会议具体安排。网址:<http://www.sinospectroscopy.org.cn>

(下转 2739 页)