

四川盆地海相页岩气藏 TSR 证据的发现

罗厚勇, 刘文汇, 王晓锋, 张东东

(大陆动力学国家重点实验室/西北大学地质学系, 陕西 西安 710069)

The discovery of TSR evidence for marine shale gas reservoirs in Sichuan Basin

LUO houyong, LIU Wenhui, WANG Xiaofeng, ZHANG Dongdong

(State Key Laboratory of Continental Dynamics/Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, Shaanxi, China)

1 研究目的(Objective)

中国从 2009 年开展页岩气实质勘探以来,已在四川盆地上奥陶统五峰组(O_{3w})—下志留统龙马溪组(S_{1l})海相页岩成功实现页岩气商业开发,成为世界上少数几个实现页岩气工业开采的国家之一,近年来掀起了页岩气研究的热潮。国内学者在页岩气的形成、演化、保存和成藏等方面取得诸多突破,同时也遇到诸多科学难题,如地质条件下页岩的成烃演化规律、页岩气乙烷碳同位素与干酪根碳同位素差异较大、页岩气烷烃气碳同位素倒转等,究其原因是页岩气组分单一,难以获取较多的地球化学信息。川南五峰组—龙马溪组海相页岩中含 H₂S 天然气的发现(N201-H1 井, H₂S 含量=0.42%),激发了笔者探索海相页岩气中 H₂S 成因的兴趣。本文力争从海相页岩中找出 H₂S 形成的地质、地球化学证据,尤其成烃演化过程中伴随的 TSR 证据,并探讨 TSR 与页岩气地球化学异常的关系。

2 研究方法(Methods)

通过野外地质调查,系统采集重庆高谷剖面五峰组—龙马溪组含黄铁矿富有机质页岩,开展 TOC 测定、全岩 X 衍射分析、岩石薄片鉴定、扫描电镜与能谱分析、次生方解石碳同位素分析、方解石中包裹体分析。利用有机无机相结合的研究手段,重点关注页岩中黄铁矿的赋存形态、与有机质和无机矿物的共生关系,进而明确黄铁矿可能的成因类型。所有分析测试和研究工作均在页岩油气富集机理与有效开发国家重点实验室完成。

3 研究结果(Results)

五峰组—龙马溪组样品(15 件)的 TOC 介于 1.6%~4.5%,均值为 2.8%,岩矿分析结果显示为硅质页岩,黄铁矿含量介于 4.5%~7.3%。多数样品中可见草莓状黄铁矿集合体零星或呈层状分布,粒径主要介于 5~10 μm(11 件),个别样品中可见笔石黄铁矿化现象,其中的黄铁矿多为草莓状黄铁矿(3 件)。在五峰组的 2 件样品中发现黄铁矿—石膏—方解石的共生脉体顺层发育,肉眼和镜下可见矿铁矿晶体呈立方体(图 1a),从矿物之间的接触关系看,石膏最先形成,边缘有明显的溶蚀迹象,其次是黄铁矿,再是方解石(图 1b);脉体上下页岩层中方解石碳同位素介于 -0.5‰~-2.4‰,均值为 -1.6‰(4 件),脉体中挑选出来的方解石碳同位素介于 -5.2‰~-9.6‰,均值为 -7.5‰(6 件),明显轻于页岩中的方解石碳同位素;脉体方解石中赋存气—液包裹体均一温度介于 103℃~148℃,集中在 135℃附近(12 个点)。

沉积岩中黄铁矿的硫源主要源自 H₂S,而 H₂S 主要成因为细菌硫酸盐还原作用(BSR)、热化学硫酸盐还原作用(TSR)和含硫有机质裂解作用(TDR)。五峰组—龙马溪组页岩中受控于原始有机质分布的草莓状黄铁矿属于同生期的 BSR 成因,而五峰组中发现的脉体具备 TSR 发生的物质和能量条件,辅以混入有机碳源的次生方解石证据,可以推断该区富有机质页岩成烃演化过程中发生过 TSR 反应,但由于 H₂S 形成后极易与页岩中的金属离子结合而以硫化物的形式沉淀下来,导致现今海相页岩气藏中

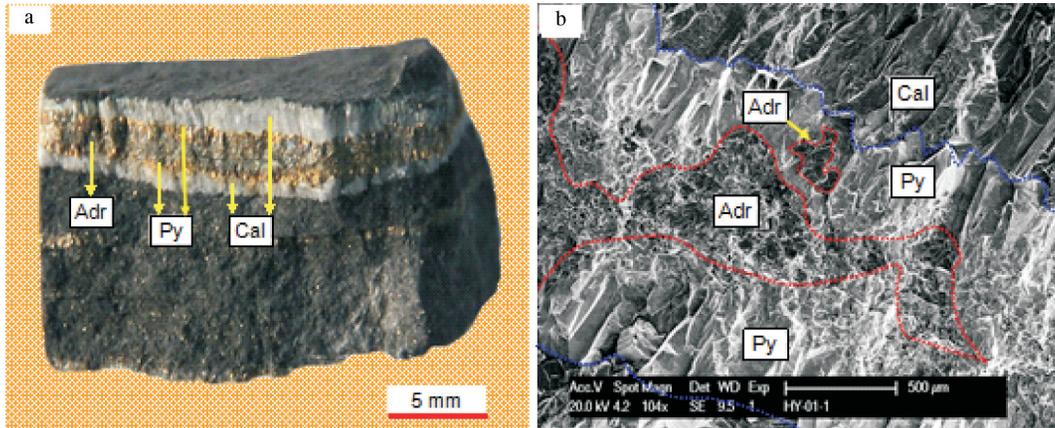


图1 黄铁矿的分布及形态特征
(Adr—石膏;Py—黄铁矿;Cal—方解石)

Fig.1 Distribution and morphological characteristics of pyrite
(Adr—Gypsum;Py—Pyrite;Cal—Calcite)

普遍不含和微含硫化氢,但是其对页岩气地球化学特征的影响不容忽视。已有模拟实验证明,可溶有机质裂解过程中 TSR 会导致烷烃气碳同位素序列倒转,因此,五峰组—龙马溪组页岩气碳同位素倒转可能与 TSR 有关。

4 结论(Conclusions)

(1) 四川盆地五峰组—龙马溪组富有机质页岩层段普遍发育黄铁矿,其中大部分为受控于原始有机质分布的草莓状黄铁矿,为 BSR 成因;特殊的矿物组合、次生方解石碳同位素偏轻和包裹体均一温度表明部分黄铁矿为有机质成烃演化过程中的 TSR 成因。

(2) 硫化氢遇到金属离子极易以硫化物的形式沉淀下来,所以同生期 BSR 形成的硫化氢很难保存至今,现今页岩气藏中的硫化氢最可能是 TSR 形

成。TSR 不仅可以改变页岩气化学组成,还可能是导致页岩气碳同位素倒转的重要因素,值得进一步深入研究。

5 致谢(Acknowledgement)

本文为国家自然科学基金项目“页岩解析气碳同位素分馏特征及其指示意义研究”(41503033)、石油化工联合基金重点项目“古生界页岩含气性原生有机质控制作用研究”(U1663202)和“海相含膏盐岩层系烃源岩发育特征与生烃潜力评价”(U1663201)的资助成果。

作者简介:罗厚勇,男,1985年生,博士,主要从事页岩气地质、油气地球化学、同位素地球化学、稀有气体地球化学研究;E-mail:luohouyong@nwu.edu.cn。