

Investigation of the Inclusions in Dynamic Evaluation of the Hydrocarbon Cap Rock

—Taking the Tarim Basin as an Example

Jianjiao Li, Zhongpei Zhang

SINOPEC Petroleum Exploration and Production Research Institute, Beijing
Email: lijianjiao.syky@sinopec.cpm

Received: May 30th, 2018; accepted: Jun. 15th, 2018; published: Jun. 22nd, 2018

Abstract

The formation conditions of the sealing ability of the gypsum rock and the geological conditions for the fracture of the limestone cap rock in the process from deep to the surface are discussed by using the inclusion data. It is considered that the gypsum rock has better sealing ability when its depth exceeds 1230 m, and the limestone will burst when it was raised more than 1550 m from the deep buried. The inclusion can record this critical geological condition and provide a new idea for the evolution of cap rock sealing ability.

Keywords

Inclusions, Gypsum, Cap Rock, Fractures, Dynamic Evolution

包裹体在油气盖层动态评价研究中的应用初探

—以塔里木盆地下古生界为例

李建交, 张仲培

中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院, 北京
Email: lijianjiao.syky@sinopec.cpm

收稿日期: 2018年5月30日; 录用日期: 2018年6月15日; 发布日期: 2018年6月22日

摘要

利用包裹体资料分别探讨了膏岩盖层封盖能力的形成条件与灰岩盖层在深埋抬升过程中产生裂缝导致盖

层破坏的地质条件。研究认为, 膏岩在埋深超过1230 m时, 具备了较好的封盖能力; 灰岩在埋深后, 抬升超过1550 m时发生破裂。包裹体可以记录这一关键地质条件, 为盖层封盖能力的演化提供了新的思路。

关键词

包裹体, 膏岩, 盖层, 裂缝, 动态演化

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

膏盐岩盖层被认为是最好的油气盖层[1] [2] [3] [4] [5], 膏盐岩盖层之所以具有非常高的封闭性能, 主要是因为其矿物组成和排列决定了它具有极低的孔隙度、渗透率和很强的塑性及流动性, 而且这些性能几乎不受成岩演化的影响, 致使它在受到极为强烈的构造挤压后, 仍能具有高的油气封闭能力[3] [4]。但是膏岩沉积后也需要一定的沉积与压实作用, 甚至重结晶作用, 其封盖能力的形成是在发生化学沉积之后就已经具备? 或是经历了一定的成岩作用过程后才具备? 这一过程并不清楚, 也鲜见有研究报道[6] [7] [8], 泥岩盖层封盖能力动态演化已被大量学者关注[1] [5] [9] [10] [11], 建立了自沉积 - 压实 - 封闭性建立 - 封闭性加强 - 脆延转换等的演化序列[5], 单旋回深埋阶段的泥岩封盖性能的演化研究方法基本已经形成, 但是, 地层抬升作用发生破裂, 破裂时的临界地质条件却难以追踪, 模拟实验及地层回剥等难以模拟复杂的地质条件, 研究困难[12], 现今多以 OCR (Over-Consolidation Ratio) 方法来近似[13], 由于包裹体由于可以记录一些关键地质过程[14] [15], 盖层抬升过程中裂缝发育, 流体活动, 势必会有包裹体被捕获, 裂缝中包裹体的信息给盖层动态研究带来了一个新的方向, 研究通过包裹体记录的地质条件, 试图寻找盖层的动态演化的关键“节点”地质条件。

本次研究是利用膏盐岩盖层中以及在灰岩中包裹体的地质信息, 探索了膏岩盖层封盖性能建议的时间及灰岩盖层发生破裂的地质条件, 是对膏岩盖层封盖性能动态演化的一个补充与探索。

2. 膏盐岩盖层封盖能力形成临界深度

盐膏岩(包括石膏、半水石膏、硬石膏等)因其密闭性好、韧性好被认为是最好的油气盖层。膏岩盖层其封盖能力是什么时候形成的? 除了在焦方正的文献中提到“塔河油区南侧下石炭统的膏盐岩在海西晚期已结晶成岩, 封闭性好”外[7], 少有文献提及, 暗示膏岩在结晶后具备封盖能力, 其封闭能力的形成可能并不像我们想象的“在沉积后就具备了封盖能力”, 也有文献报道, 膏岩中发育烃类包裹体, 暗示其可能在一定的历史时期, 曾经不具备封盖能力[8]。

2.1. 模型建立

盖层如果无效, 层间流体会发生流动。而盐结晶或者重结晶的速度要比石英、方解石等快的多, 所以在早期很容易被包裹体记录流体活动的信息, 此时流体活动代表盐不具备封盖能力(图 1); 而盐层中流体包裹体的最高温度, 代表了其具有封盖能力的最低条件, 是最后一次流体被捕获, 此后流体不能在盐层间发生流动(图 1), 具备了封盖能力。因此, 如果在盐膏岩盖层中发现低温包裹体群, 可以用其最高温度对应的埋深来近似盖层封闭能力形成的初始埋深[1]。

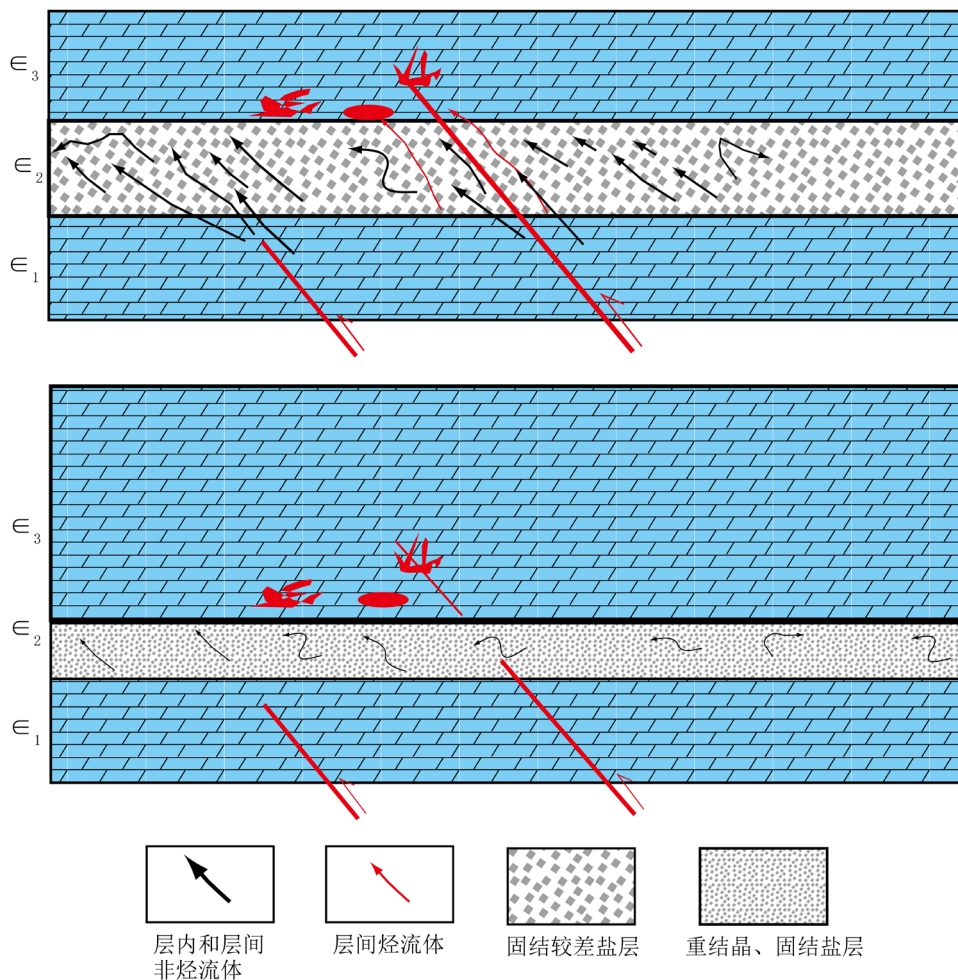


Figure 1. Sketch model of salt compaction and sealing ability formation
 图 1. 理想的盐压实过程与封闭能力形成模型

2.2. 实例与应用

研究选择巴楚隆起钻穿寒武系的探井 BT5, 钻遇阿瓦塔格、吾松格尔组两套盐盖层, 其中阿瓦塔格组主要岩性为白色岩盐、膏质岩盐夹灰褐色泥岩与含石膏白云岩, 累计厚度 149 m, 膏岩单层最大厚度 16 m, 评价为 I 类盖层, 吾松格尔组, 累计膏盐岩厚度超过 100 m, 最大单层厚度 23 m, 为白色的岩盐, 纯度高, 实测突破压力 36 MPa。具有很好的封盖能力, 评价为 I 类盖层。

在 BT5 井盐层中发现多个包裹体, 对盐层中的包裹体测温表明, 最低温度为 29.6℃, 最高温度为 57.1℃, 包裹体发现在盐晶体中, 是盐晶体在愈合时捕获, 此时流体活动代表盐不具备封盖能力, 盐岩中流体的最高温度代表了其具有封盖能力的最低条件, 是最后一次流体捕获, 此后流体不能在盐层间发生流动。所以 57.1℃代表了盐能具备封盖能力的最小埋深的地温, 即能具备封盖能力的最低地质条件, 通过对 BT5 井埋藏史的恢复(图 2), 可见, 中寒武盐层具备封盖能力的埋深是 1230 m。

3. 盖层裂隙化深度(D_F)等效估算

岩石在抬升阶段会出现裂隙化已被理论研究和野外观察所证实。抬升阶段的裂隙化现象可以用在实验室三轴卸压试验来模拟再现, 但是由于难以得到理想的未经历抬升与再压实的样品, 实验室模拟非常

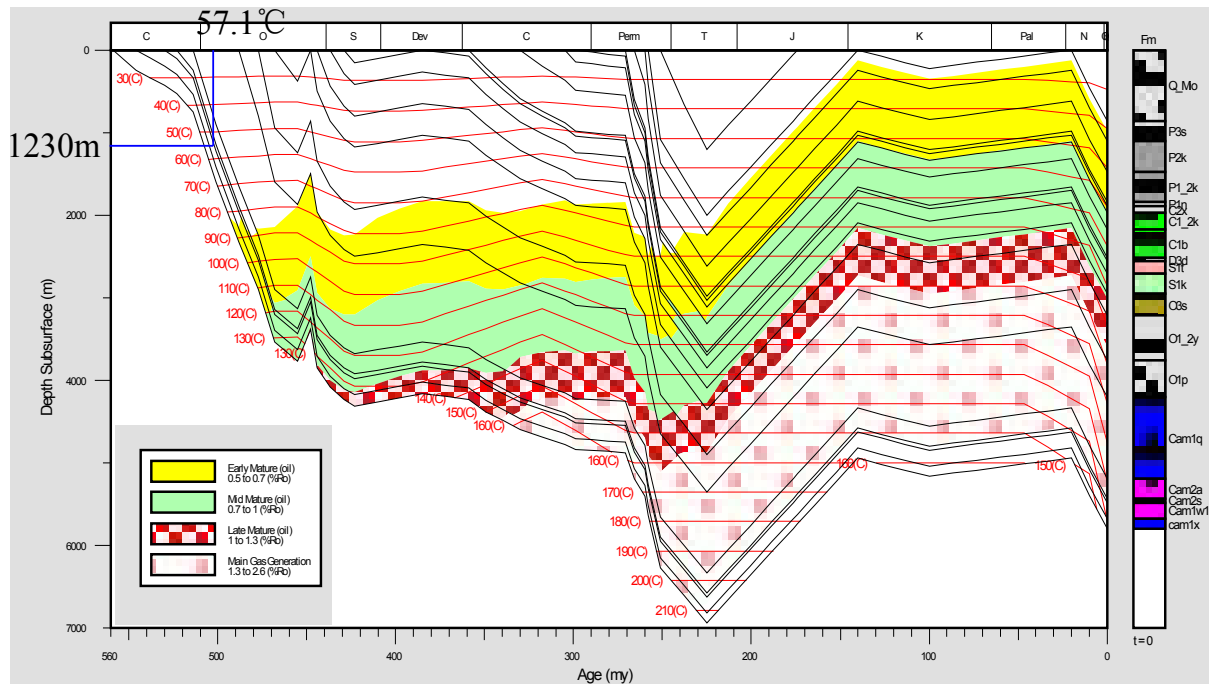


Figure 2. Burial History and the critical temperature of the sealing ability, well BT5 gypsum cap rock, Bachu uplift, Tarim Basin

图 2. 塔里木盆地巴楚隆起 BT5 井埋藏史与盖层封盖能力形成临界温度

困难。在野外，我们注意到在裂缝中多充填石英或方解石，这是裂缝开启流体曾经发生流动的标志[15]，其中的流体包裹体记录了裂缝发育的地质条件。用包裹体的均一温度去反推和估算岩石发生裂缝时的埋深。把岩层在抬升前的最大埋深减去这一埋深，既可得到现出裂缝化的最小抬升幅度。在研究中发现，由于泥岩较少捕获包裹体，并且发现脆性系数(脆性系数是描述岩石韧性特征的参数)具有白云岩 > 灰岩 > 泥岩 > 膏岩的特点，所以利用可以捕获大量包裹体的灰岩等效。

3.1. 模型建立

地层经历了复杂的地质过程，达到最大埋深，此时地层围压大，层间有少量裂缝，但裂缝闭合，很少有流体通过；在地层抬升以后，奥陶系上覆地层被剥蚀，压力卸载，裂缝张开，有流体通过，流体被裂缝愈合与孔洞充填时的方解石捕获形成流体包裹体。

3.2. 实例与应用

研究选择塔里木盆地西北部奥陶系典型剖面——巴楚唐王城一间房剖面，起点位于 314 国道西行至 1177 km 路标附近[16]，取样点位于小海子水库附近的奥陶系标准剖面，奥陶系蓬莱坝组，相当于原上秋里塔格亚群的下段，上部主要为灰色砂屑灰岩和泥晶灰岩，下部为浅灰 - 灰白色中 - 厚层细 - 粗晶白云岩、亮晶砾砂屑灰岩，含硅质条带，厚 180~445 m。分析取样点的地质演化历史之后，简单处理，认为在达到最大埋深后，单旋回抬升至现今。

获得灰岩裂缝充填方解石脉的包裹体均一温度数据 110 个，其峰值温度在 90°C~110°C 之间，借鉴与剖面位置最近的单井同 1 井埋藏史来模拟剖面上奥陶系蓬莱坝组埋藏与抬升过程，蓬莱坝组灰岩在由 4750 m (最大埋深)抬升至 2500~3200 m 左右时裂缝张开，抬升幅度在 1550~2250 m，选择一个最小的发生裂缝化的条件，即灰岩在地层抬升幅度为 1550 m，开始发生破裂(图 3)。

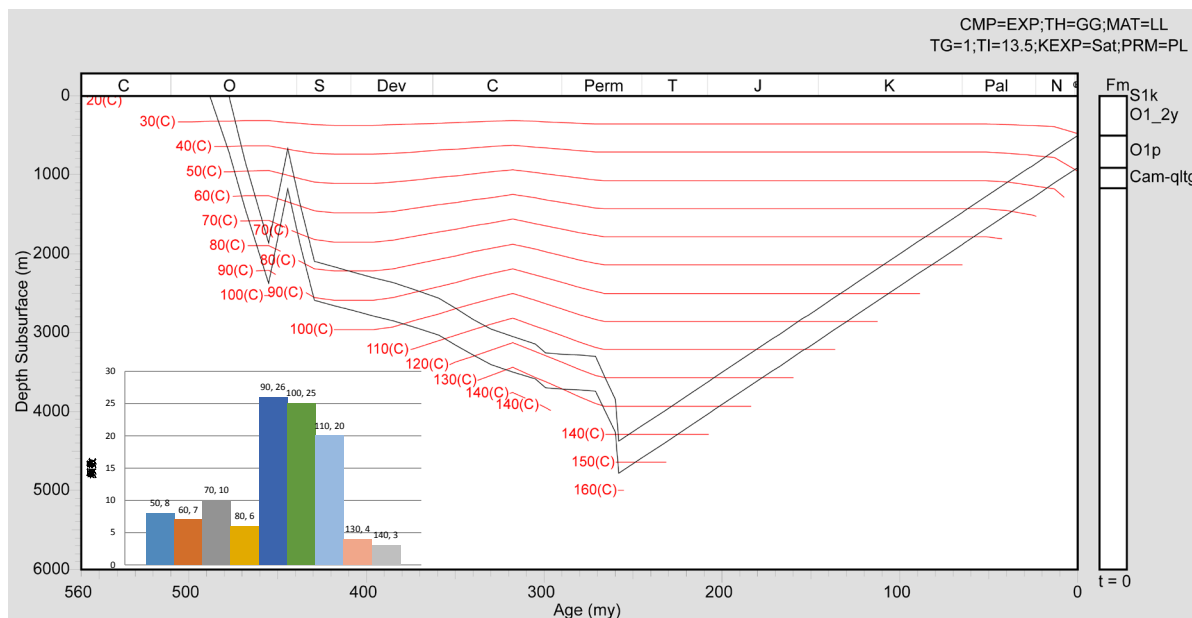


Figure 3. Burial and evolution history and fluid inclusions homogenization temperature of the middle Ordovician in the Northwest of the Tarim Basin

图 3. 塔里木盆地西北部奥陶系地层埋藏演化史与包裹体均一温度

OCR 为最大垂直有效压力和现今垂直有效压力的比值, *OCR* 越大, 高演化泥岩的脆性也越大。在不考虑构造应力作用下(如区域性水平挤压应力导致地层变形和褶皱、断裂等因素), 只考虑抬升剥蚀、地层卸压这一因素时, 当 $OCR \geq 2.5$ 时, 泥岩发生破裂, 从而失去封闭性[13] [17]。

此次试验的抬升过程计算了其超固结比, 在埋深为 4750 抬升至 2500 m, 抬升幅度为 1550 m 时, 计算其 $OCR = 1.9$ 。所以我们可以用 *OCR* 参数来评价盖层发生破裂的地质条件, 泥岩可以选择 2.5, 而灰岩可以选择 1.9, 作为裂缝化产生的条件。

4. 讨论

关于膏岩中包裹体的地质意义, 已经引起了诸多的关注[8], 但是盐及膏岩中的流体包裹体来源以及与成藏有关的地质意义缺少相关的研究。但是可以确定的是包裹体的存在是盐盖层在某个时刻不具备或者失去盖层封闭性的标志, 暗示了流体的活动。但是盐与普通岩类的特殊性是盐易溶于水, 当有流体出现时, 溶解作用可能会引起盐岩性质的明显变化。有学者指出, 微量的水会导致岩盐软化变形, 而流体包裹体组合、相态及分布特征可以指示岩盐的变形软化过程, 同时, 流体包裹体特征可以反映岩盐晶体重结晶的过程, 这也反映了流体与岩盐之间具有非常密切的关系。所以盐中包裹体的地质意义可能还存在一定的不确定性。

盖层的抬升裂缝化的条件, 不仅仅是压实作用回弹的结果, 可能是构造应力与流体压力耦合的结果, 此次研究对埋藏演化历史的处理也简单化, 而初始成岩作用阶段对盖层的后期封盖性能的“保存”也有一定的影响作用, 但是包裹体记录的地质条件却是盖层发生破裂的“窗口”。

5. 结论

包裹体资料给盖层的研究带来了新的启发, 初步取得了一下的认识:

- 1) 盐盖层中的包裹体证实盐层并不是沉积后立刻具备了封盖能力, 可能需要一定的压实或者重结晶等地质作用后封盖能力开始建立, 封盖能力的形成尚需要进一步认识;

2) 盖层抬升后, 会发生裂缝化, 包裹体记录了盖层发生裂缝的地质条件, 其与抬升幅度、岩性、成岩作用阶段等有密切关系, 使用 *OCR* 方法可以对盖层的裂缝化条件进行评价, 并得到合理的结果。

基金项目

本研究受中石化科技部项目“巴麦地区油气成藏条件与勘探方向研究, 编号 P15090”、国家重大专项“海相碳酸盐岩油气动态成藏、富集规律, 编号: 2011ZX05005-001-003”资助。

参考文献

- [1] 张仲培, 王毅, 李建交, 等. 塔里木盆地巴 - 麦地区古生界油气盖层动态演化评价[J]. 石油与天然气地质, 2014, 35(6): 839-852.
- [2] 付孝悦. 天然气成藏与保存[J]. 新疆石油地质, 2004, 25(2): 212-214.
- [3] 金之钧, 周雁, 云金表, 等. 我国海相地层膏盐岩盖层分布与近期油气勘探方向[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(6): 715-724.
- [4] 金之钧. 我国海相碳酸盐岩层系石油地质基本特征及含油气远景[J]. 前沿科学, 2010, 4(1): 12-24.
- [5] 周雁, 金之钧, 朱东亚, 等. 油气盖层研究现状与认识进展[J]. 石油实验地质, 2012, 34(3): 234-245.
- [6] 卓勤功, 赵孟军, 李勇, 等. 膏盐岩盖层封闭性动态演化特征与油气成藏——以库车前陆盆地冲断带为例[J]. 石油学报, 2014, 35(5): 847-856.
- [7] 焦方正, 翟晓先. 海相碳酸盐岩非常规大油气田——塔河油田勘探研究与实践[M]. 北京: 石油工业出版社, 2008: 1-32.
- [8] 陈勇, 周振柱, 高永进, 等. 济阳拗陷东营凹陷盐岩中的烃类包裹体及其地质意义[J]. 地质论评, 2014, 60(2): 464-472.
- [9] 李双建, 周雁, 孙冬胜. 评价盖层有效性的岩石力学实验研究[J]. 石油实验地质, 2013, 35(5): 574-578.
- [10] 孙建军. 塔里木盆地克拉苏构造带下第三系膏泥岩盖层评价[D]: [硕士学位论文]. 大庆: 大庆石油学院, 2009.
- [11] 李双建, 沃玉进, 周雁, 等. 影响高演化泥岩盖层封闭性的主控因素分析[J]. 地质学报, 2011, 85(10): 1691-1697.
- [12] 邱登峰, 李双建, 袁玉松, 等. 中上扬子地区地史模拟及其油气地质意义[J]. 油气地质与采收率, 2015, 22(4): 6-13.
- [13] Nygård, R., Gutierrez, M., Bratli, R.K. and Høeg, K. (2006) Brittle-Ductile Transition, Shear Failure, Leakage in Shales, Mudrocks. *Marine and Petroleum Geology*, 23, 201-212. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2005.10.001>
- [14] 刘德汉. 包裹体研究——盆地流体追踪的有力工具[J]. 地学前缘, 1995, 3(3-4): 149-154.
- [15] 卢焕章, 郭迪江. 流体包裹体研究的进展和方向[J]. 地质论评, 2000, 46(4): 385-392.
- [16] 张师本, 吴同甲, 刘贵昌, 等. 塔里木盆地周缘地层考察指南[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003: 18-20.
- [17] 袁玉松, 范明, 刘伟新. 盖层封闭性研究中的几个问题[J]. 石油实验地质, 2011, 33(4): 336-340.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2163-3967, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: ag@hanspub.org