

碳酸盐岩裂缝描述七大难点

全球油气资源约有 60% 蕴藏于碳酸盐岩之中，中东的盖瓦尔、巴西的卢拉、哈萨克斯坦的卡萨甘等知名大油气田均出自碳酸盐岩。碳酸盐岩油气藏勘探的攻关重点之一是天然裂缝研究，但碳酸盐岩特有的高非均质性和复杂的成岩作用特征使其裂缝研究很难套用现有的标准裂缝描述流程。虽然新方法、新技术层出不穷，但这方面的研究依然面临着诸多难点，而这些难点有时也反映了当前碳酸盐岩裂缝研究的主要方向。

1) 同沉积变形—早期脆裂变形的辨识

碳酸盐岩成岩较早，因此常受大面积同沉积变形作用的影响，有着远长于其他类型同期岩层的脆裂变形史，尤其是断层区喷口直接排出物沉积而成的石灰华等，情况更加复杂。这类碳酸盐岩比邻断层区或位于其上，受到断层移动的持续影响。确认掩盖深部碳酸盐岩结构特征的同沉积变形作用，并根据结果预测远离探井部位的裂缝模式，是当前碳酸盐岩同沉积变形研究中的难点。

2) 沉积非均质性：沉积和力学地层的多变

碳酸盐岩颗粒类型繁多，成份复杂，力学非均质性大于其他类型的岩石，也极大地影响着裂缝的分布。即使在同一地层或层序，裂缝的形成也都受到不同力学性质的影响。明确影响裂缝分布的岩石类型和结构及影响方式也是当前碳酸盐岩沉积非均质性研究难点之一。

3) 物化反应抹掉的证据

碳酸盐岩在近地表和地层深部条件下都易于发生溶解、重结晶等反应，一些储层本身就位于碳酸盐岩内的大缝洞里。碳酸盐岩中的裂缝也受溶解和析出作用的影响，裂缝充填物的组成复杂，裂缝胶结物也常发生溶解、重结晶和其他交代反应作用，使其最初的成份或组构难以辨认，重结晶形成的晶体大于裂缝开度时也会影响对裂缝开度的估算。碳酸盐岩的过度活跃常抹去其结构变化痕迹，使裂缝胶结物一些独特结构消失，影响裂缝成因和发育时间的确定。

4) 缝合线的指示性

碳酸盐岩中常见缝合线，与裂缝一起构成复杂的裂缝网络。缝合线也可视为收缩的裂缝，可像裂缝一般延展生长，因此又被称为防裂线（Fletcher 和 Pollard, 1981）。近期研究（Aharonovt 和 Karcz, 2019）对以往的防裂线模型提出了质疑，指出一些缝合线尖端部位常见岩脉类的抗拉结构，表明其有着更为复杂的应力状态。结合缝合线动力学和相对时间解释碳酸盐岩构造演化既是当前的研究难点也是重要的突破口。

5) 流体包裹体组合的价值

碳酸盐岩中的矿物较软、易于变形，包裹体保存条件往往不佳，得出的俘获温度和原始组成因此很不可靠（Ukar 和 Laubach, 2016），近年来常通过对碳酸盐岩矿物内成因相关的流体包裹体组合进行整体研究来提高推测精度。Fall 和 Bodnar（2018）的研究显示，含气致密（低渗）砂岩环境下的流体包裹体组合的均一温度中位数范围不超过 2℃，表明流体包裹体组合确实可以为研究某些类型沉积岩的温度、盐度和压力演变提供极其有价值的信息。

6) 力学性质演化的复杂性

沉积的非均质性、成岩作用、活性物质含量高等因素使碳酸盐岩的力学性质演化非常复杂。深入认识力学性质演化和裂缝形成与分布之间的关系有助于裂缝的准确描述。碳酸盐岩的裂缝研究可以借助力学性质演化的复杂性得到更加准确的属性预测。

7) 岩溶、白云石化和热液作用

岩溶作用、白云石化作用和热液作用是形成碳酸盐岩深层储层的重要条件。近年的一些研究揭示岩溶作用末期或地层深部溶蚀作用常使裂缝发育成为缝洞、白云石化作用与裂缝密度之间存在正相关关系、热液产生的高压流体可形成非结构裂缝等，对这 3 种作用的研究也是碳酸盐岩裂缝描述的主要方向和难点。