

古水深的地球化学恢复方法及在层序地层划分中的应用

杨万芹^{1,2)}, 朱德顺²⁾, 银燕²⁾, 丁桔红^{1,2)}

1) 中国石油大学(华东)地球科学与技术学院, 山东青岛, 266555;

2) 中石化胜利油田分公司地质科学研究院, 山东东营, 257000

对于湖泊古水深, 在方法上目前主要依靠比较常规的沉积特征的定性研究和介形虫的优势分异度的定量研究。但是, 介形虫分异度研究古水深的方法对样品的要求比较高, 且只能分析浅湖的沉积深度, 而泥页岩的沉积环境一般都是半深湖-深湖。本文主要建立对古水深变化反映灵敏的地球化学指标, 进行多个指标综合, 进行古水深的量化恢复, 并应用恢复的古水深曲线, 进行层序地层划分。主要以济阳拗陷的渤南洼陷为例。

1 地质概况

渤南洼陷为济阳拗陷中沾化凹陷的最大的次级洼陷, 位于沾化凹陷中西部, 是在古生界基岩古地形背景上、经构造运动发育形成的断一坳盆地。渤南洼陷古近系发育齐全, 自下而上包括孔店组、沙河街组和东营组, 厚度达 4000 多米, 沉积了沙四段上亚段、沙三段下亚段、沙三段中亚段及沙一段 4 套有效烃源岩, 其中沙三下亚段烃源岩, 其生烃指标好, 厚度及分布范围大, 油气生成量大, 是研究区油气生成的主力层系, 具有良好的页岩油气资源潜力。

2 古水深恢复方法

2.1 Fe/Co 比值法

Fe、Co 同属第 VIII 族元素, 其物理、化学性质相近, 也有不同。在湖泊近岸条件下, Fe 的沉淀比例要比 Co 多, 随着水体逐渐加深, Co 的含量是逐渐增加的, 因此, 可以根据 Fe、Co 含量的相对多少来推断沉积物形成时的离岸距离。如果湖水遵

循随着深度加大游离氧减少、还原性逐渐增强的变化规律, 这种距离指标也可以指示古湖水相对深度, 即: Fe/Co 值加大, 水体变浅; Fe/Co 值减小, 水体加深。

2.2 Fe/Mn 比值法

Fe、Mn 在元素周期表中分别处于 d 区 VIII、VII 族, Fe 在其氧化物中 Fe³⁺离子最稳定, Mn 元素的 Mn²⁺较稳定。Fe、Mn 都是变价元素, 对氧化还原环境的变化反映特别敏感。一般在干燥、温度较高的气候条件下, 氧化性相对于湿冷的气候条件要高。因为 Mn 与 O 的亲合力明显低于 Fe 与 O 的亲合力, 在沉积过程中 Mn、Fe 易发生分离, Fe 先发生沉淀, 比值 Mn/Fe 明显降低 (Mn/Fe < 1), 所以比值 Mn/Fe 还可以指示水深条件。一般浅水环境的 Mn/Fe 比值要比深水环境的 Mn/Fe 比值低得多。反之, 若沉积物中的 Mn/Fe 的比值偏高, 则表示当时的环境比较湿冷, 湖泊水位较高。

2.3 Th/U 比值法

U 铀的天然矿物中仅有 4+ 和 6+ 化合物。在氧化条件下, 铀容易氧化为易溶的 6+, 造成铀的迁移和再分配; 而在还原条件下, 铀则形成 4+ 的不可溶化合物, 使铀不断聚集。钍的化合价以 4+ 为主, 化学性质比较稳定, 不受氧化—还原条件的影响。并且, Th⁴⁺ 与 U⁴⁺ 具有密切的伴生关系, 因此可以利用岩石中 Th/U 比值来反映沉积水体的氧化—还原条件。通常, 在波浪作用带内为氧化环境, 浪基面以下逐渐变为弱氧化—弱还原环境, 风暴浪基面以下基本上是还原环境。可以看出, 氧化—还原条件的变化能够反映出水深的变化。

注: 本文为国家“973”计划“中国东部古近系陆相页岩油富集机理及分布规律”子课题“陆相页岩油富集要素与有利区预测”(编号 2014CB239104) 成果。

收稿日期: 2015-03-01; 改回日期: 2015-03-01; 责任编辑: 黄敏

作者简介: 杨万芹, 女, 1974 年生。硕士, 高工, 在读博士, 矿产普查与勘探专业, 目前从事石油地质综合研究。Email: 108752265@qq.com。

综合 Fe/Co、Fe/Mn 和 Th/U 三种古水深恢复方法，归一化后求和，得出相对古水深综合指标。据《中国石油地质志（卷六）》中介绍，沾化凹陷沙三下亚段平均古水深为 50 米。依据计算出的相对古水深综合指标和平均古水深，就可以推算出不同沉积时期的古水深值（图 1）。从恢复的古水深曲线上看，在 3060 米井段处，古水深比较大，因此还原性强，这种环境是更有利于有机质保存的。而在对应深度井段有机碳含量在沙三下亚段也是最高的，说明了利用该方法恢复古水深是符合实际情况的。

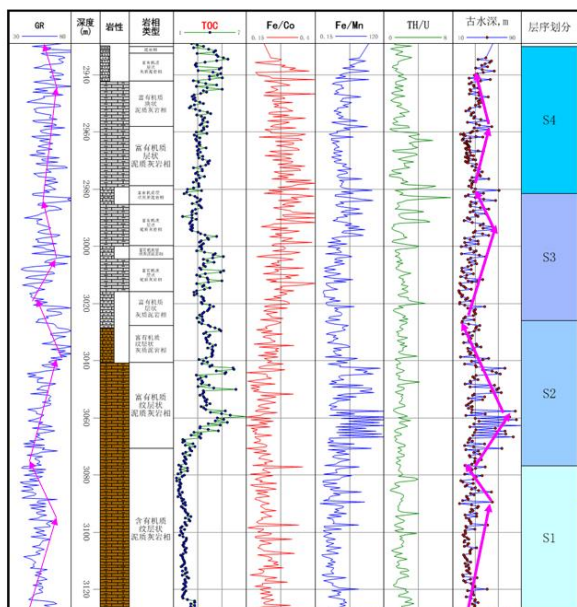


图 1 渤南海陷沙三下亚段古水深恢复

3 层序地层划分

沉积盆地具有基本的地球化学环境，对元素的分布起主要的控制作用，并且表现出微量元素分布的规律性。微量元素的分配及比值的变化都在一定程度上指示着古气候环境的演化历程。这是因为岩层中元素的分配一方面取决于元素本身的理化性质，另一方面又受到古气候、古环境的极大影响。在构造活动稳定，沉积物供给速率恒定的情况下，气候的变化对高频层序发育起着决定性的作用。对于一个封闭湖泊，蒸发/降雨条件控制着湖水的水

位，气候干热，蒸发量大于降水量，湖水水位下降，反之，湖水水位上升。湖水水位的变化与气候（蒸发/降雨）的变化趋势是一致的，因此可以根据古水深的变化进行高分辨率层序地层单元的识别和划分。

应用恢复的古水深变化曲线，渤南海陷沙三下亚段从下往上共划分了四个准层序组（图 1），准层序及其界面特征在岩心和 GR 测井曲线上都有很好的对应性。每个准层序组在 GR 曲线上也对应着一个曲线从小-大-小的旋回，准层序组 S1 水深相对较小，对应的岩相是含有有机质纹层状泥质灰岩相。

4 结论

根据 Fe/Co、Fe/Mn 和 Th/U 三个元素比值综合，在结合地区平均古水深进行古水深曲线恢复，在渤南海陷得到了很好的应用。应用恢复的古水深曲线可以进行高分辨率层序地层单元的识别和划分。

参考文献 / References

- 钱凯. 胜利油区地质研究与勘探实践. 1992. 东营: 石油大学出版社, 76~175.
- 周杰, 庞雄奇, 李娜. 2006. 渤海湾盆地济阳坳陷烃源岩排烃特征研究. 石油实验地质, 28(1): 59~64.
- 殷纯暇. 1981. 关于硬软酸碱原理及其在地球化学中应用的探讨, 地质论评, 3(3):69~70.
- 谭红兵, 于升松. 1999. 我国湖泊沉积环境演变研究中元素地球化学的应用现状及发展方向. 盐湖研究, 7(3):58~64.
- 王学军, 王志欣, 刘显阳. 2008. 利用铀的测井响应恢复鄂尔多斯盆地古水深. 天然气工业, 28(7):46~48.
- 赵俊青, 纪友亮, 张世奇. 2004. 陆相高分辨率层序界面识别的地球化学方法. 沉积学报, 22(1):79~85.
- 翟光明, 王慎言, 史训知. 1993. 中国石油地质志（卷六）胜利油田. 石油工业出版社, 182~183.