

## 冷水碳酸盐研究新进展\*

苏旺<sup>1)</sup>, 陈志勇<sup>1)</sup>, 汪泽成<sup>1)</sup>, 江青春<sup>1)</sup>, 李梅<sup>2)</sup>

1) 中国石油勘探开发研究院, 北京, 100083; 2) 中国石油大学(北京)地球科学学院, 北京, 102200

现代碳酸盐沉积物主要发育于海洋环境, 并以低纬度的温暖浅海环境为主, 主要分布于热带地区, 故有学者据其成因称之为“热带浅海碳酸盐”或“暖水碳酸盐”。根据“将今论古”的现实主义原则, 传统的地质学观点认为古代的海相碳酸盐岩也主要形成于低纬度、洁净温暖的浅海海水中。然而, Chave 早在 1967 年就对“暖水碳酸盐”这一传统认识提出了质疑; 近年来, 基于深海钻探和大洋调查的研究表明, 在全球多个高纬度及深水地区也发现了现代碳酸盐沉积物; 此外, 一些学者还论述了古代的高纬度碳酸盐岩实例。基于此, 一些学者提出了“冷水碳酸盐”(Cool-Water Carbonates)的概念, 也有学者称之为“非热带陆架碳酸盐”、“温带碳酸盐”(Nelson et al., 1988; 颜佳新, 1991; Pedley et al., 2006), 即主要分布于纬度在 30° 以上的温带及寒带地区、沉积温度在 20~25℃ 以下的碳酸盐沉积物或碳酸盐岩。需要说明的是, 高纬度、深水区并不是冷水碳酸盐的根本限定因素, 在有冷的沿岸流冲刷(冷的富营养上升流)的热带浅海区也有冷水碳酸盐的发育(Schlager, 2005; Pedley et al., 2006), 其决定性因素在于是否有冷水的作用, 因此“冷水碳酸盐”这一表述可能更为准确。Pedley 等(2006)认为, 在研究冷水碳酸盐时, 应将小潮海(被陆地包围的水体, 如地中海)和大潮海(即世界性大洋)区分开来, 并指出两者的主要区别不只是生物的多样性, 而更重要的是以小潮海为特征的最低晴天再沉积作用。应该说, “冷水碳酸盐”概念的提出丰富和深化了人们对于碳酸盐沉积环境的理解。

近年来, 冷水碳酸盐在国际上已成为碳酸盐沉积学的一个热点研究领域, 在第 18 届国际沉积学大会上专门设了一个冷水碳酸盐的研讨专题, 并有多位学者作了发言(吴因业等, 2011)。然而目前冷水碳酸盐研究尚处于探索阶段, 已发表的相关文献多

集中于澳大利亚、新西兰、地中海和加拿大等地区的第四系和古近系碳酸盐沉积物, 而对于更为古老的古代碳酸盐岩论述较少。相比于国外, 国内学者很少涉及该领域的研究。与暖水碳酸盐相比, 冷水碳酸盐在结构组分(包括颗粒、基质和胶结物)、矿物成分、地球化学特征、成岩作用、沉积形态等方面均表现出明显的不同。

碳酸盐结构组分中的颗粒包括生物骨架颗粒和非骨架颗粒。其中, 骨架颗粒又称生物碎屑, 由于生物类型及其演化受生态环境的控制, 对于碳酸盐沉积中的生物组合而言, 其必然受到海洋物理化学条件的控制, 温度便是其中重要的影响因素之一。因此冷水碳酸盐沉积在生物组合方面表现出与暖水碳酸盐不同的特征, 多位学者对此作了详细阐述(Tucker et al., 1990; 颜佳新, 1991; Pedley et al., 2006)。在热带、亚热带浅海中, 生物组合以蓝绿藻、绿藻和造礁珊瑚大量发育为特征, 藤壶、苔藓虫等占次要地位; 而冷水碳酸盐沉积则受生物骨架碎屑所覆盖的开放海底环境所控制, 这种海底环境缺乏造礁珊瑚、钙化绿藻, 而以底栖有孔虫、软体动物为主, 此外还有苔藓虫、海胆、藤壶、钙质红藻、介形虫等。由于冷水碳酸盐缺乏造礁生物形成的抗浪骨架, 波浪和风暴就可以直接冲刷到海岸, 导致沉积稳定性变差, 因此海底生物建造很少超过分米级幅度, 所以说冷水碳酸盐岩通常形成碳酸盐缓坡, 且是均匀倾斜的(Pedley et al., 2006)。一般而言, 随着纬度的增加, 动物群的多样性(不同种的数目)减小, 而适应性(以每个种的个体数来衡量)变强。另一方面, 非骨架颗粒(包括球粒、鲕粒、核形石和集合颗粒等)主要分布于热带、亚热带地区, 而在高纬度地区则基本缺失(颜佳新, 1991; Pedley et al., 2006), 即冷水碳酸盐沉积缺乏非生物骨架颗粒, 这是由于碳酸盐饱和度、海水温度及盐度等条件不利

收稿日期: 2015-02-03; 改回日期: 2015-03-01; 责任编辑: 周健。

作者简介: 苏旺, 男, 1991 年生。硕士, 从事碳酸盐岩层序地层学与沉积储层研究。Email: suwang91@163.com。

于这些颗粒的硬化和保存。

在碳酸盐沉积环境中,灰泥的成因主要有化学沉淀作用、机械破碎和磨蚀作用以及生物作用等。在热带地区碳酸盐常处于过饱和状态,因此以化学沉淀和生物化学作用为主,现代海洋沉积物中的针状文石泥大多是这种成因;而在非热带地区灰泥的成因则主要为颗粒的磨蚀、生物侵蚀和浸解作用等(Leonard et al., 1981; 颜佳新, 1991)。这是因为非热带地区碳酸盐难以饱和,不易产生化学沉淀,而另一方面因其沉积速率较低、生物钻孔发育且未被充填等使得颗粒易遭受磨损和侵蚀,从而形成灰泥。

随纬度增高,碳酸盐沉积物在矿物组成上的变化特征并不是很明显,但总体表现出文石和镁方解石含量变少、而方解石比例增高的趋势。此外,蒸发盐类矿物、钙质叠层石、同生白云石等矿物多形成于温暖的低纬区,而在冷水环境它们则普遍缺乏。

在地球化学方面,微量元素如 Mn 和 Sr 浓度不仅受到水温的影响,还受到矿物、生物种类、盐度、成岩作用等其他条件的控制,因此很难用于区分冷水碳酸盐和暖水碳酸盐;而氧同位素组成这一指标应用效果较好。值得注意的是,它们若经历后期成岩作用则可能会削弱甚至消除这些特征。

需要说明的是,对于冷水碳酸盐和暖水碳酸盐的判别,要综合结构组分、矿物组成、地球化学特征等多方面的资料,单方面的特征如单一门类的生物化石很难将两者区分开,且可能得出错误的结论。

我国海相碳酸盐岩分布面积广,油气资源丰富,是当前及未来油气勘探的一个重要领域。许多古代的冷水碳酸盐实例已经被识别,并且毫无疑问的是,现在被认为是“热带碳酸盐岩”的实例也将被证明是冷水碳酸盐岩(Pedley et al., 2006)。而古代冷水碳酸盐岩油气潜力如何、是否能形成油气的有效储层、其形成机理及规模如何等问题还不明确,因此冷水碳酸盐的基础性研究无论是对于碳酸盐沉积岩石学理论的完善还是对于油气勘探的指导都具有重要的意义。

### 参 考 文 献 / References

- 吴因业, 朱如凯, 罗平, 等. 2011. 沉积学与层序地层学研究新进展——第 18 届国际沉积学大会综述. 沉积学报, 29(1): 199-206.
- 颜佳新. 1991. 非热带浅海碳酸盐岩研究的新进展. 地质科技情报, 10(4): 15-18.
- Chave K E. 1967. Recent carbonate sediments: an unconventional view. *Journal of Geological Education*, 15(5): 200-204.
- Leonard J E, Cameron B, Pilkey O H, et al. 1981. Evaluation of cold-water carbonates as a possible paleoclimate indicator. *Sedimentary Geology*, 28(1): 1-28.
- Nelson C S. 1988. Non-tropical shelf carbonates—modern and ancient. *Sedimentology Geology*, 60: 1-367.
- Pedley H M, Carannante G. 2006. Cool-water carbonate ramps: a review. London, Geological Society Special Publications 255: 1-9.
- Schlager W. 2005. Carbonate Sedimentology and Sequence Stratigraphy. SEPM Special Publications, 24.
- Tucker M E, Wright V P, Dickson J A D. 1990. Carbonate Sedimentology. Oxford, London: Blackwell Scientific Publications: 28-69.