

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

# 藻类勃发——湖相油源岩形成的一种重要机制

刘传联<sup>1)</sup> 徐金鲤<sup>2)</sup> 汪品先<sup>1)</sup>

1) 同济大学海洋地质教育部重点实验室, 上海, 200092;

2) 胜利石油管理局, 山东东营, 257015

**内容提要** 浮游藻类是重要的湖相生油母质, 本文以渤海湾盆地济阳坳陷早第三纪湖相生油岩为例, 详细研究了其中藻类(主要是颗石藻和沟鞭藻)化石的分布特征, 并通过与现代水体中藻类生产和沉积作用的比较, 探讨了生油湖泊中藻类生产和沉积方式及其对油源岩形成所起的控制作用。结果显示, 藻类勃发现象在早第三纪生油湖泊中相当普遍, 而且贯穿于各类油源岩的形成过程, 这类快速事件性沉积是湖相油源岩形成的一种重要机制。

**关键词** 勃发 浮游藻类 湖相油源岩 机制

浮游藻类对湖相生油的重要性已为人们广泛认识(胡见义等, 1991; 吴国瑄等, 1998; 徐金鲤等, 1993), 但是这些藻类在古湖泊中是如何生产和沉积的, 它们对于湖相油源岩的形成有何控制作用, 则缺乏深入探讨。近年来, 现代沉积和水生生物学的研究取得了很大进展<sup>①</sup>, 使我们对水体中浮游藻类的生产, 沉积作用方式和过程有了更多的了解, 也为解决上述问题提供了“将今论古”的依据。本文以渤海湾盆地济阳坳陷下第三系湖相油源岩为例, 通过对其中藻类化石分布高分辨率地观察和分析, 揭示出现代藻类生产的一种重要方式——勃发(bloom), 同样存在于早第三纪生油湖泊中, 而且是油源岩形成的主要机制。

## 1 油源岩中藻类化石的分布

济阳坳陷下第三系湖相油源岩主要分布在沙河街组(始新世—渐新世)(王秉海, 1992), 其类型多种多样, 但主要为纹层状泥页岩, 包括钙质纹层页岩、钙质纹层泥岩、富有机质纹层页岩3类<sup>②</sup>, 这些岩石中藻类化石的分布既有共性又存在着差异。

(1) 钙质纹层页岩: 该类油源岩肉眼下观察呈浅色层和暗色层相间的特征(图版 I-1)。在扫描电镜下观察, 浅色层为颗石藻化石纹层, 暗色层为有机质纹层(图版 I-2, I-3)。再进一步对单个纹层进行取样, 用标准孢粉学方法处理样品并涂制薄片, 在生

物显微镜下观察, 则有机质纹层多由沟鞭藻化石组成(图版 I-4)。这样, 钙质纹层页岩实质上是由颗石藻化石纹层和沟鞭藻化石纹层组成。这些藻类化石纹层有着共同的特点, 即都是由单属(或种)组成, 如颗石藻化石纹层由 *Reticulofenestra bohaisensis* 种组成, 沟鞭藻化石纹层由 *Fromea* 属组成, 大小均一、形状清晰的化石密密麻麻叠加在一起形成了纹层。虽然现代颗石藻主要生活在海洋中, 但也有非海相环境生活的例子(Kelts et al., 1978)。作者曾对该类颗石藻化石纹层进行过 Sr 同位素分析, 结果表明, 它们生活的环境是与海水无关的咸水湖(刘传联等, 1996)。济阳坳陷的沟鞭藻化石已进行过许多研究, 目前趋向于认为该类化石生活在非海相环境(徐金鲤等, 1998)。

(2) 钙质纹层泥岩: 该类油源岩肉眼观察看不到页理或不清晰, 但在背散射电镜图象中则显示明显的纹层状构造, 其中浅色层为细粒方解石纹层, 暗色层为含有机质的粘土矿物纹层(图版 I-5)。细粒方解石纹层主要成分为细粒方解石(1~4 μm), 混有粗粒方解石(10~20 μm)及少量铁白云石。对单个纹层进行取样分析, 在含有机质粘土矿物纹层中也有沟鞭藻化石层出现(图版 I-6)。

(3) 富有机质纹层页岩: 在油田习称“油页岩”, 肉眼观察由浅暗色层相间排列组成, 并夹有方解石脉(图版 I-7)。背散射电镜下观察, 浅色层为粘土矿

① Moss B. Ecology of fresh water: man and medium, past to future(3rd). Blackwell Science, 267~289.

② 刘传联, 舒小辛, 刘志伟. 济阳坳陷下第三系湖相生油岩的微观特征. 沉积学报, 待发表.

收稿日期: 2000-04-29; 改回日期: 2000-06-26; 责任编辑: 章雨旭.

作者简介: 刘传联, 男, 1963年生。1989年和1998年于同济大学获硕士和博士学位。现在同济大学海洋地质教育部重点实验室从事古湖泊、古海洋学研究。通讯地址: 200092, 上海四平路1239号, 同济大学海洋地质与地球物理系; Email: clliu@online.sh.cn.

物纹层,暗色层为有机质纹层,有机质纹层中有机质呈拉长、压扁状或片状(图版 1-8)。对单个纹层进行分析,在生物显微镜下未发现沟鞭藻化石个体,主要是无定形有机质。在下面的讨论中,将要说明这些无定形有机质的主要来源是浮游藻类,因此,藻类对于该类油源岩的形成同样有重要控制作用。

## 2 现代湖泊和海洋中藻类的生产与沉积

现代湖泊和海洋中浮游藻类分布广泛,其中主要的是硅藻、颗石藻和沟鞭藻,它们构成了初级生产力的主体。这些藻类生产的一个重要特点就是勃发。所谓“勃发”,就是藻类在一定的条件下、在一定的时期内可以形成单属种的极度生长和富集,形成“白水”、“红水”或“赤潮”。藻类勃发在现代海洋和湖泊中都有多次报道,归纳已有资料可以总结出藻类勃发有以下特点:①藻类勃发可以产生极高的生产力。以美国缅因湾“白水”(颗石藻勃发所造成)为例,水中颗石藻细胞的密度可达3.5个/L,分散的颗石密度可达120个/L(Ackleson et al., 1988)。②藻类勃发是单(属)种生长。藻类勃发具有排它性,单(属)种可以通过遮盖光线排泄有毒物质或因具有极高的生长速率而抑制其它浮游藻类的生长(Sancetta, 1996)。如现代海水颗石藻的勃发几乎全是由 *Emiliani huxleyi* (现代海洋最常见的一个种)组成(Winter, 1985)。③藻类勃发具有季节性。如非洲坦噶尼喀湖的北部,硅藻勃发发生在每年的5~8月,在南部,则发生在9~11月份(Hecky et al., 1981)。另外不同地区或不同环境,勃发的时间和次数有很大不同。在同一水体中,不同的藻类甚至不同属种可以相继勃发。如 Hay (1990) 等曾报道黑海硅藻是春季勃发,颗石藻是秋季勃发。④藻类勃发造成的直接后果是以纹层的形式沉积下来。无论是海洋沉积,还是湖泊沉积中,藻类纹层都极为普遍(Kemp, 1996)。藻类纹层常是由单种化石或残骸所组成,同时藻类纹层常是韵律性沉积。不但不同的藻类纹层可以组成韵律,而且藻类纹层可以与陆源碎屑或碳酸盐矿物纹层组成韵律。如黑海全新世晚期纹层状沉积,以浅色层和暗色层互层为特征,其浅色层由颗石组成,以 *Emiliani huxleyi* 为主,而暗色层则为硅藻纹层(Hay et al., 1990)。⑤在湖泊中,藻类勃发还可诱发表层水体碳酸盐沉积。大量藻类发生光合作用,可以消耗掉表层水中的  $\text{CO}_2$ ,使  $\text{CaCO}_3$  达到过饱和而沉淀下来,从而在沉积中形成碳酸盐纹层(Kelts et al., 1978)。这是

许多温带湖泊甚至热带湖泊沉积中常见的现象,对于以方解石为骨骼的颗石藻勃发特别有利。

## 3 讨论

将油源岩中藻类化石的分布与现代藻类的生产和沉积特点进行比较,可以讨论古湖泊中藻类的生产方式及其对油源岩形成的控制作用。

首先,藻类勃发是济阳拗陷早第三纪生油湖泊中的普遍现象。其证据有三:①藻类化石纹层的存在无疑是古湖泊水体中藻类勃发的结果。无论是颗石藻还是沟鞭藻化石纹层都是单种分布、且与其它纹层组成韵律性沉积,这些都与现代湖泊和海洋中藻类勃发沉积的特点一致。②油源岩中细粒方解石纹层的存在,从另一个侧面反映可能有藻类勃发或高生产力事件出现,因为它们可能是生物诱发的碳酸盐沉积。③无定形有机质纹层的存在也可能意味着藻类勃发的发生。因为,对于无定形有机质的成因,多数学者认为是浮游藻类生物降解作用的结果。如 Talbot (1988) 对热带非洲现代湖泊浮游植物的研究表明:沉积物中藻类残骸的少见仅反映它们具有较低的保存能力,并不能真正说明贫乏,一些无定形物质很可能来源于蓝绿藻和绿藻。Lewan (1986) 用有机地球化学资料证明,大多数无定形体是浮游植物成因的。由此看来,富有机质纹层页岩中的有机质可能主要来源于藻类,它们富集成层,意味着存在藻类勃发,从而造成较高的生产力。

其次,藻类勃发贯穿于各类油源岩的沉积过程中,是它们形成的重要机制。根据济阳拗陷各类油源岩中藻类的分布及其他组成特征,可以解释它们的形成机制如下:①对于以颗石藻化石纹层和沟鞭藻化石纹层组成的钙质纹层页岩,它们实际上是颗石藻和沟鞭藻交替勃发的结果。②对于钙质纹层泥岩,在含有机质粘土矿物纹层中,存在沟鞭藻化石层,说明也有藻类勃发发生,同时,细粒方解石纹层的存在,也可能是藻类勃发诱发碳酸盐沉积的结果。③在富有机质纹层页岩中,虽然未见到沟鞭藻类化石个体,但富有机质纹层的广泛存在,意味着藻类并不是真正的缺乏,而是未保存下来的缘故。这类有机质纹层,在生物显微镜下多呈无定形,为不规则的微粒、凝块或絮团;在背散射电镜下呈纹层状和条带状,正如上述,它们可能主要来源于藻类,是藻类勃发产生的大量藻类经生物降解作用所形成。富有机质纹层页岩中还有一个重要现象,即方解石脉的存在。对于其成因可以有不同的解释:一种可能是在早期成岩

时期,原生石膏层由于湖底硫酸盐还原细菌使石膏变为 $HS^-$ ,并析出 $Ca^{2+}$ ,从而形成方解石;也有可能是气候变化引起湖水性质变化的结果,其中方解石层相当于现代死海纹层状蒸发岩中的白色文石层;第三种可能是选择性溶解的原因,这种粗粒方解石层由细粒方解石成岩变化而来。如果这样的话,原始沉积物中必有细粒方解石层,而细粒方解石层的存在意味着藻类勃发出现。看来,这种可能性是极大的。因为有这么丰富的有机质,当时湖水的高生产力甚至勃发,完全有可能诱发碳酸盐岩沉积。

#### 4 结语

根据藻类化石纹层、细粒方解石纹层和无定形有机质纹层的广泛存在,推测济阳拗陷早第三纪湖相油源岩沉积时期的古湖泊中,藻类勃发现象普遍存在,而且它们对于油源岩的形成起着重要的控制作用。

其中钙质纹层页岩是由颗石藻和沟鞭藻交替勃发所形成。沟鞭藻勃发不但形成了钙质纹层泥岩粘土矿物纹层中的沟鞭藻化石层,同时还诱发沉淀了细粒方解石纹层。藻类勃发形成的高生产力,使得大量藻类沉积下来,由于微生物的降解作用,最终形成了无定形有机质,它们成层分布,与粘土矿物纹层一起,组成了富有机质纹层页岩。

济阳拗陷早第三纪湖相油源岩在整个渤海湾盆地,乃至中国东部中、新生代含油盆地中都具有代表意义。因此,本次研究的结果可能具有普遍性,即藻类勃发是湖相油源岩形成的一个重要机制。

#### 图版说明

1. 钙质纹层页岩的磨光面照片,显示由浅色层和暗色层互为韵律组成。
2. 钙质纹层页岩的扫描电镜照片,显示由颗石藻化石纹层(C层)和有机质纹层(O层)组成。
3. 2中颗石藻化石纹层的放大照片(扫描电镜),示颗石藻化石纹层由 *Reticulofenestra bohaisensis* 单种组成。
4. 钙质纹层页岩有机质纹层中的沟鞭藻(*Fromea*)化石层(比例尺=0.05mm)。
5. 钙质纹层泥岩背散射电镜图象,浅色层为细粒方解石纹层,暗色层为含有有机质的粘土矿物纹层。
6. 钙质纹层泥岩中的沟鞭藻(*Bohaidina*)化石层,沟鞭藻化石纹层出现在粘土矿物纹层中。
7. 富有机质纹层页岩的磨光面照片(比例尺=3cm)。
8. 富有机质纹层页岩的背散射电镜图象(B)。

#### 参 考 文 献

- 胡光义,黄第藩等. 1991. 中国陆相石油地质理论基础. 北京:石油工业出版社,164~194.
- 刘传联,成鑫荣. 1996. 渤海湾盆地早第三纪非海相钙质超微化石的镭同位素证据. 科学通报,41(10):908~910.
- 王秉海,钱凯. 1992. 胜利油区地质研究与勘探实践. 山东东营:石油大学出版社,357.
- 吴国璋,朱伟林,黄正吉等. 1998. 湖相沉积浮游藻类及有机质类型与烃源研究. 同济大学学报,26(2):116~179.
- 徐金鲤,祝幼华. 1993. 微体浮游植物化石在古湖泊研究中的应用. 见:汪品先,刘传联主编. 含油盆地古湖泊学研究方法. 北京:海洋出版社,117~191.
- 徐金鲤等. 1998. 山东胜利油区早第三纪沟鞭藻类和疑源类. 山东东营:石油大学出版社,241.

#### References

- Ackleson S, Balch W M, Holligan P M. 1998. White waters of the Gulf of Maine. *Oceanography*, 11:18~22.
- Hay B J, Honjo S. 1990. Interannual variability in partial flux in the southwestern Black Sea. *Deep-Sea Research*, 37,911~928.
- Hecky R E, Kling H J. 1981. The photoplankton and protozooplankton of the euphotic zone of lake Tanganyika—Species composition, biomass, chlorophyll content and spatio-temporal distribution. *Limnology and Oceanography*, 26, 548~564.
- Kelts K, Hsu K J. 1978. Freshwater carbonate sedimentation. In: Lerman. ed. *Lake-Chemistry, Geology, Physics*. Springer-Verlag, 295~323.
- Kemp A E S. 1996. Palaeoclimatology and Palaeoceanography from Laminated Sediments. London: Geological Society Special Publication No. 116, 1~251.
- Lewen M D. 1986. Stable carbon isotopes of amorphous kerogens from Phanerozoic sedimentary rocks. *Geochica et Cosmochimica Acta*, 50: 1583~1591.
- Liu Chuanlian, Cheng Xinrong. 1996. Strontium isotopic evidences of the Eocene non-marine calcareous ultra-micro-fossils in Bohai Bay basin. *Chinese Science Bulletin*, 41(10): 908~910(in Chinese).
- Sancetta C. 1996. Laminated diatomaceous sediments; controls on formation and strategies for analysis. In: Kemp A E S eds. *Palaeoclimatology and Palaeoceanography from Laminated Sediments*. London: Geological Society Special Publication No. 116,17~22.
- Talbot M R. 1988. The origins of lacustrine oil source rocks; evidence from the lakes of tropical Africa. in: Fleet A J, Kelts K, Talbot M R. eds. *Lacustrine Petroleum Source Rocks*. Geological society Special Publication No. 40, 29~43.
- Winter A. 1985. Distribution of living coccolithophores in the California Current system, Southern California borderland. *Marine Micropaleontology*, 9:385~393. Wu Guoxuan, Zhu Weilin, Huang Zhengji, et al. 1998. Study on planktonic algae, organic type and hydrocarbon resources in Lacustrine sedimentation. *Journal of Tongji University*, 26(2): 116~179(in Chinese with English abstract).

## Algal Blooms : the Primary Mechanism in the Formation of Lacustrine Petroleum Source Rocks

LIU Chuanlian<sup>1)</sup>, XU Jinli<sup>2)</sup>, WANG Pinxian<sup>1)</sup>

1) *Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai, 200092*

2) *Shengli Petroleum Administrative Bureau, Dongying, 257000*

### Abstract

Phytoplanktons are important oil-producing materials in lake basins. As a case study, lacustrine petroleum source rocks in the Jiyang depression of the Bohai Bay basin are studied. They are mainly distributed in the Shahejie Formation (Eocene—Oligocene) and can be divided into three types: calcareous laminated shales, calcareous laminated mudstones and organic-rich laminated shales. Optical, SEM and BSEI analyses of these source rocks reveal that there are algal (coccoliths and dinoflagellates) laminae in the rocks. An individual algal lamina is generally composed of one species, such as *Reticulofenestra bohaisensis* in coccolith laminae, and *Fromea* as well as *Bohaidina* in dinoflagellate laminae. This suggests that algal laminae be formed from algal blooms in the ancient lake. Other components of source rocks included organic matter laminae, carbonate laminae and clay-rich laminae. Besides, it is suggested in the paper that the sedimentation of organic matter laminae and carbonate laminae be also closely related to algal blooms. We thus conclude that the laminated lacustrine source rocks in the Jiyang depression were formed from algal blooms, which is the primary mechanism in the formation of lacustrine petroleum source rocks.

**Key words:** algal blooms; phytoplankton; lacustrine petroleum source rocks; mechanism

---

