

湖相油页岩的沉积环境及其层序地层学意义

刘立 王东坡

(长春地质学院能源地质系, 130062)

按照沉积环境,湖相油页岩可分为浅湖和深湖两种类型。前者可根据干盐湖模式、外因分层湖模式和浅盐湖模式来解释;后者则与分层湖作用有关。无论是浅湖还是深湖油页岩,在纵向上它们都位于湖侵—湖退旋回(规模可大可小)的中部。作为陆相地层中的“密集段”之一,油页岩是否可作为区分水进体系域和高水位体系域的标志(最大洪泛面或最大洪泛带),取决于它们在层序中所处的位置以及该油页岩层之上是否还有其他密集段的存在。

关键词 油页岩 浅湖油页岩 深湖油页岩 密集段 层序地层学

第一作者简介 刘立 男 40岁 博士 沉积学

油页岩是指干酪根含量高得足以分馏出相当数量石油的岩石(不必一定为泥质的)(Fischer 和 Roberts, 1991)。油页岩大部分产于湖相、成煤沼泽及陆棚浅海环境(何起祥, 1978)。

湖相油页岩以美国西部绿河组(始新世)研究得最为详细,先后提出分层湖模式(Bradley, 1963; Bradley 和 Eugster, 1969)、干盐湖模式(Eugster 和 Surdam, 1973)、生物化学分层湖模式(Desborough, 1978)和外因分层湖模式(Boyer, 1982)分别解释油页岩的形成,并且将油页岩的形成与 Milankovitch 旋回联系起来(Fischer 和 Roberts, 1991)。

近年来,层序地层学理论在陆相地层中的应用取得了较大的进展(Shanley 等, 1994),其中,陆相地层中的密集段(Condensed Sections)正在引起人们的注意。一些研究者(魏魁生、徐怀大, 1994; 王东坡、刘立, 1994)将油页岩视为陆相地层的密集段。但是,关于该密集段在体系域划分中的作用尚缺乏专门的探讨。

本文根据沉积环境将湖相油页岩划分为浅湖和深湖两大类,并且列举了它们各自的成因模式,讨论了油页岩形成与湖平面升降的关系以及它在陆相层序地层学研究中的意义。

1 浅湖油页岩

浅湖油页岩以美国西部 Gosiute 湖地区的绿河组(始新世)Wilkins Peak 段为代表。该段的下伏地层为 Tipton 段,上覆地层为 Laney 段,均属于绿河组,并且均主要由油页岩组成。绿河组的下伏和上覆地层均为河流沉积。

Wilkins Peak 段油页岩浅湖成因的证据主要如下。

1.1 油页岩具暴露标志

油页岩相由微细平行纹层状的油页岩和具透镜状内部构造的油页岩组成。纹层状的油页岩由有机质和白云质纹层构成。单个纹层组的厚度小于 1mm,横向延伸仅几厘米。具透镜状内部构造的油页岩的透镜体,主要为具纹理的白云岩和暗色油页岩的“内碎屑”。这些“内碎屑”一般长为 1~30mm,平行层理排列,其充填物为纹层状的油页岩。削截的纹理和圆化的边缘说明它们经历过一定程度的搬运。在弧立的、垂直透镜体中曾发现过昆虫幼虫的潜穴(Eugster 和 Hardie, 1975)。

Bradely(1931)将这种“内碎屑”称为页岩角砾。这种“页岩角砾”不但见于盆地边缘[例如 Piceance Creek 盆地(Bradley, 1931)],也见于盆地中央[例如 Bridger 盆地(Eugster 和 Hardie, 1975)]。

1.2 油页岩与蒸发盐岩共生

在纵向上,油页岩与天然碱组成韵律(韵律的下部为油页岩,上部为天然碱),这些韵律至少重复 60 次(Eugster 和 Surdam, 1973)。这表明,油页岩是在总体干旱的气候条件下形成的。

Eugster 和 Hardie (1975)通过详细的岩相研究之后,提出干盐湖(Plays-Lake)模式来解释 Wilkins Peak 段的沉积作用。按照该模式,在 Wilkins Peak 段沉积时期,湖中央为浅水干盐湖,周围为广阔的、经常出露水面的泥坪,再向外为冲积扇。在相对不太干旱时期,湖平面上升,湖区范围扩大,底栖的蓝绿藻和真菌便形成了絮凝状的软泥,这些便是尔后油页岩中有机质的来源。油页岩中的纹层被认为是由藻类生长和风暴事件造成的。在相对干旱时期,湖平面下降,湖区范围缩小。这时湖泊边部甚至靠近湖泊中央处的泥或富含有机质的软泥就会发生干裂,同时暴风就会将泥坪中那些砂或粉砂级的白云质微晶内碎屑搬运到湖泊中央。如果这时湖平面上升,就会形成那种发育透镜状“内碎屑”的油页岩。如果气候持续干旱,蒸发强烈,湖中央就会成为天然碱和石盐沉淀的场所。

Boyer (1982)根据相关关系,沉积构造和古生态方面的证据,提出了一个与干盐湖截然不同的外因分层湖(ectogenic meromictic lake)模式,解释这种类型油页岩的成因。他假定在干盐湖阶段(蒸发盐沉积)之后,由于某些外在因素(如气候)的变化,导致内流水量增加,这样便造成湖泊水体的下部为卤水(干盐湖阶段形成),上部为淡水的盐度分层湖。在形成油页岩之后,随着内流量的减少又复成为干盐湖。

Fischer 和 Roberts (1991)认为, Wilkins Peak 段油页岩是在易于遭受干裂作用的浅盐湖(shallow saline ponds)中,由微生物席形成的,并且指出,这种油页岩的沉积速率显著不同于季候泥类型的油页岩。

2 深湖油页岩

据目前的资料,世界上绝大多数湖相油页岩都形成于深湖或大型水久湖之中。例如,绿河组中的 Tipton 段和 Laney 段油页岩(Bradley 和 Eugster, 1969; Fischer 和 Roberts, 1991),准噶尔盆地南部晚二叠世油页岩(Carroll 等, 1992)和松辽盆地白垩纪青一段和嫩一、二段油页岩(王东坡和刘立等, 1995)。它们的深湖成因证据包括两个方面。

2.1 油页岩由季候纹层组成

绿河组中的油页岩由干酪根和粘土或碳酸盐组成。Bradley (1929)发现这些干酪根—矿物层偶的厚度大体分为三组,即 0.014mm(富油页岩), 0.5mm(贫油页岩)和 9.8mm(砂岩)。这与 Zurich 湖中的现代沉积类似。因此,Bradley (1929)将这种层偶的形成归因于年季候泥。Fischer 和 Roberts (1991)的研究表明,绿河组中 Tipton 段和 Laney 段油页岩的层偶为年旋回。松辽盆地中的油页岩主要由干酪根和粘土矿物组成(王东坡和刘立等, 1995)。季候纹层的存在说明,这种油页岩的形成环境不仅免遭波浪作用,而且也无食腐动物的活动,显然,只有深湖环境才能满足这一条件。

2.2 油页岩中缺乏底栖生物化石

油页岩中一般不含有任何底栖生物化石。例如,松辽盆地嫩二段油页岩中不但本身不含生物化石,而且其夹层的黑色页岩中也仅具有不能鉴定种属的白色介形虫薄膜。但在油页岩层之上的黑色泥页岩之中却发育营底栖生活的聂氏土形虫 *Ilgocy Primorpha netchaevae* 带和非凡土形虫 *Ilyocy Primorpha portentosa*—规则女星虫 *Cyrideaordinata* 带。准噶尔盆地南部晚二叠世油页岩中也缺乏底栖生物群(Carroll 等, 1992)。上述事实说明,这种类型的油页岩只能形成于缺氧强还原环境。

深湖油页岩的形成主要与分层湖环境有关,现代沉积环境中分层湖极为常见。分层湖的核心问题是湖水因密度差而分层,密度差可以通过温度差和盐度差来实现。一般而言,温度差形成的分层湖不稳定,随气候变化而变化。(Collinson, 1978),盐度差形成的分层湖则比较稳定。Bradly (1963)和 Bradley 与 Eugster (1969)最早根据分层湖模式解释绿河组油页岩及伴生岩相的形成。按照该模式,湖的下部为盐水,上部为少盐水。上部适合于湖泊生物如蓝绿藻的生长,而下部由于高盐度和强还原条件,不适合所有生物的生活。

在一般情况下，湖底由正在腐烂的有机质软泥所覆盖，这些软泥由上层水体的游泳—浮游生物所提供。春季或夏季游植物的过量繁殖导致碳酸盐沉淀，形成季节碳酸盐纹层。春季的洪水注入则导致季节性粘土纹层的形成。后来，Desborough(1978)又提出生物化学分层湖模式来解释绿河组油页岩的形成。

准噶尔盆地南部晚二叠世油页岩(Carroll 等,1992)和松辽盆地白垩纪青一段和嫩一、二段油页岩(王东坡,刘招君和刘立,1994;王东坡和刘立等,1995)的形成也被认为与分层湖有关。

3 油页岩的层序地层学意义

众所周知，密集段有时可代表最大洪泛面(带)，因而可作为划分水进体系域和高水位体系域的标志。由于油页岩是陆相地层中的密集段之一，因此在陆相地层层序地层学的研究中，查明油页岩与湖平面升降的关系就显得格外重要。油页岩层共生岩相组合的沉积环境分析是这方面研究的途径之一。下边将通过几个典型油页岩的岩相组合实例，讨论油页岩的形成与湖平面升降的关系，进而确定油页岩在层序地层学研究中的实际意义。

3.1 实例 1 美国西部始新世绿河组 Wilkins Peak 段

Eugster 和 Hardie(1975)的研究表明，该段由扁平砾石砾岩(A)，油页岩(B)，泥岩(C)，钙质砂岩(D)和天然碱构成 4 种旋回类型(图 1)，即 A-B-C、D-B-C、D-C，和 B-天然碱-C。其中，A、B、和 D 被认为是湖侵沉积物，C 为湖退沉积产物。Fugster 和 Hardie(1975)强调“油页岩是主要湖侵的产物，它构成了旋回的中部，……油页岩向上可过渡为纹层状的泥岩。这种过渡很明显是由湖退引起的，是湖泊缓慢收缩与沉积物输入量增加共同造成的。”

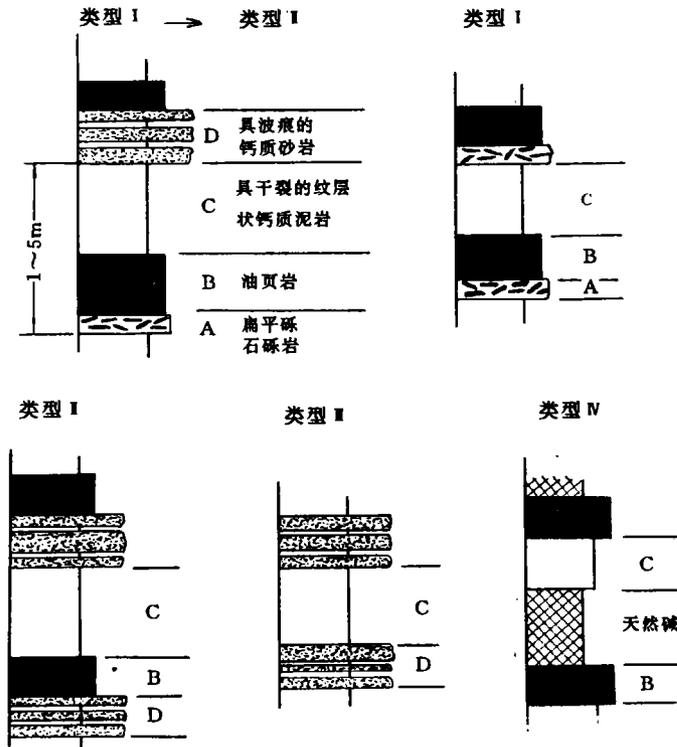


图 1 Wilkins Peak 段的 4 种沉积旋回类型 (Eugster 和 Hardie,1975)

3.2 实例 2 美国西部始新世绿河组 Tipton 段

Wilkins Peak 段之下的 Tipton 段自下而上可划分成 3 个带(图 2): 第一带 1.5~31m 厚, 由灰岩, 粉砂岩和劣质油页岩组成; 第二带为 19~50m 厚, 由油页岩和舌状河流砂岩组成; 第三带由薄层的叠层石层为代表。叠层石被认为是浅湖沉积的标志(Surdam 和 Wolfbauer, 1975)

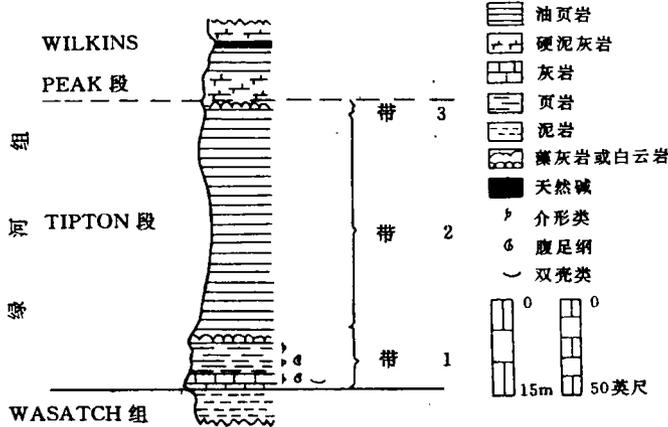


图 2 Tipton 段地层剖面(Surdam 和 Wolfbauer, 1975)

3.3 实例 3 松辽盆地白垩纪青一段

松辽盆地白垩纪青一段下部由 3 个准层序构成, 自下而上为(图 3): 准层序 A 以粉砂质泥岩为主, 代表半深湖沉积; 准层序 B 由油页岩组成, 代表深水分层湖沉积; 准层序 C 由鲕状灰岩、粉砂质泥岩和白云岩结核、以及黄绿色泥岩组成, 为滨浅湖和半深湖沉积的产物。青一段上部由 6 个准层序构成, 均为由粉砂质泥岩(含白云岩条带和结核)和黑色泥页岩构成的半深—深湖沉积(图 3), 直至青二段时期才开始出现浅水沉积^①。这说明青一段底部的油页岩并不是最大洪泛的标志。最大洪泛面应是青一段上部发育的、具水平层理的泥岩的底部。

3.4 实例 4 准噶尔盆地南部晚二叠世沉积

准噶尔盆地南部晚二叠世沉积可划分成湖盆相和湖泊边缘相。湖盆相由油页岩及粉砂岩组成, 湖泊边缘相由泥岩、具波痕构造的砂岩和粉砂岩及少量的灰岩组成。这两种岩相的纵向排列为(自下而上): 湖泊边缘相—湖盆相, 或湖泊边缘相—湖盆相—冲积相—湖泊边缘相(Carroll 等, 1992)。

3.5 实例 5 陕甘宁盆地南部三叠纪延长组

在陕甘宁含油气盆地南部的三叠系中, 延长组第一段为平原河流相, 第二段为浅湖相, 第三段下部为半深湖相(自下而上由黑色页岩和油页岩组成), 上部为浅湖相(童崇光, 1984)。

上述实例说明, 无论油页岩是浅湖成因(如 wilkins peak 段)还是深湖成因(如松辽盆地青一段等), 它们都位于湖侵湖退旋回的中部。油页岩的底界面为较大的洪泛面。顶界面为水落面, 标志着湖退的开始。

上述实例也说明, 油页岩是否可以作为划分水进体系域和高水位体系域的标志(最大洪泛面或最大洪泛带)要具体情况具体分析。

(1) 如果在一个层序内, 油页岩层为容纳空间由增加到减少的转折点(退积与加积或进积的转折点), 那么该油页岩层的底界就可代表最大洪泛面, 例如绿河组中的 Laney 段油页岩和陕甘宁盆地中延长组第三段的油页岩。否则只能作为一较大洪泛面(带)来处理, 例如绿河组中的 Tipton 段和 Wilkins Peak 段的油页岩。

① 刘立. 松辽裂谷盆地的层序地层学研究. 长春地质学院申请博士学位论文, 1993

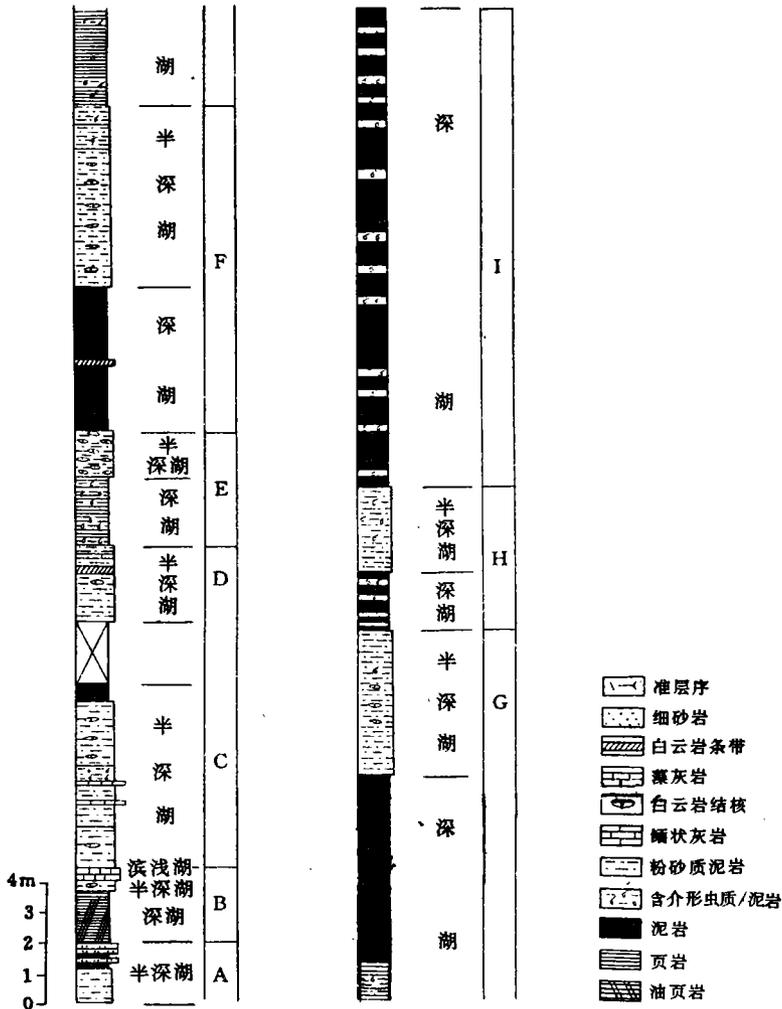


图 3 青一段地层剖面(农安县青山口乡露头)

(2)如果在一个层序内,油页岩层之上尚有厚层的其他密集段(如黑色泥页岩等)存在,那么该油页岩层就只能代表一次较大的洪泛面,而不代表最大洪泛面(带),因此不能作为区分体系域的标志,例如松辽盆地青一段底部的油页岩就是如此(王东坡,刘招君和刘立,1994;王东坡和刘立等,1995)。

(收稿日期:1995年5月30日)

参 考 文 献

- 1 何起祥. 沉积岩和沉积矿床. 北京:地质出版社,1978
- 2 王东坡,刘招君,刘立. 松辽盆地的演化与海平面升降. 北京:地质出版社,1994
- 3 王东坡,刘立. 大陆裂谷盆地层序地层学研究. 岩相古地理,1994,14(3):1~9
- 4 王东坡,刘立,张立平,吕传江. 松辽盆地的古气候,沉积旋回与层序地层. 长春:吉林大学出版社,1995

- 5 魏魁生,徐怀大. 二连盆地白垩系非海相沉积层序地层特征. 地球科学,1994,19(2):139~149
- 6 Boyer B W. Green river laminites, Does the playa-lake model really invalidate the stratified-lake model? *Geology*, 1982,10:321~324
- 7 Bradely W H and Eugster H P. Geochemistry and paleoclimnology of the irona deposits and associated authigenic minerals of the Green River Formation of Wyoming, U. S. . *Geological Survey professional paper* 803, 1969,53P
- 8 Carroll A R, Brassell S C and Graham S A. Upper Permian Lacustrine oil shales, Southern Junggar Basin, Northwest China. *AAPG Bulletin*, 1992,76(12):1874~1902
- 9 Desborough G A. A biogenic-chemical stratified lake model for the origin of oil shale of the Green River Formation, An alternative to the playa-lake model. *Geological Society of America Bulletin*, 1978, 89:961~971
- 10 Eugster H P and Surdam R C. Depositional environment of the Green River Formation of Wyoming, A preliminary report. *Geological Society of America Bulletin*, 1973, 84: 1115~1120
- 11 Fischer A G and Roberts L T. Cyclicity in the Green River Formation (lacustrine Eocene) of Wyoming. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1991,61(7): 1146~1154
- 12 Shanley K W and McCabe P J. Perspectives on the sequence stratigraphy of coontinental strata. *AAPG Bulletin*, 1994, 78(4): 544~568

DEPOSITIONAL ENVIRONMENTS OF LACUSTRINE OIL SHALES AND ITS SEQUENCE STRATIGRAPHY SIGNIFICANCE

Liu Li Wang Dongpo

(Changchun College of Geology)

Abstract

Lacustrine oil shales can be divided into shallow lake and deep lake deposits in terms of their sedimentary environments. The former can be playa, ectogenic meromictic and shallow saline lakes; and the later is related to stratified lake. The oil shales are located in the middle part of a transgressive-regressive cycle (whose scale is variable), whether they are shallow or deep lake oil shales in origin. As one of condensated sections of continental strata, if oil shales can be marks between transgressive system tract and highstand system tracts (the maximum flooding surface or the maximum flooding zone) depends on their position in the sequence and on if there is other condensated section above the shales.