

文章编号: 1000-0550(2000)04-0585-05

沉积有机相在陆相层序地层格架中的分布特征^① ——以吐哈盆地台北凹陷及准噶尔盆地南缘中侏罗世煤系为例

杨建业¹ 任德贻² 邵龙义²

1(西安科技学院 西安 710054) 2(中国矿业大学北京校区 北京 100083)

摘要 综合应用有机岩石学、地球化学及孢粉学的研究方法,对吐哈盆地台北凹陷及准噶尔盆地南缘 J_2x 煤系的沉积有机相在陆相层序的格架中的分布特征进行了探讨。研究表明,一般情况下,各类沉积有机相在层序地层格架纵向上以湖侵体系域为中心对称分布,生烃能力最强的烃源岩出自湖湾—半深湖有机相,其位置一般出现在湖侵体系域中部,向上向下,烃源岩生烃能力依次变差。

关键词 陆相层序地层学 沉积有机相 侏罗纪 吐哈盆地 准噶尔盆地

第一作者简介 杨建业 男 1960 年出生 博士 副教授 有机岩石学

中图分类号 P593 P539.2 **文献标识码** A

1 引言

层序地层学是沉积学发展史中出现的一门新学科。它强调某一类大型水体(海、内陆大湖)表面变动所产生的全球或大区域同时性沉积有等时面的意义。层序地层学最初是从研究北美被动大陆边缘盆地海相沉积过程中建立起来的一种沉积学模式。近年来,许多学者^[1~4]又试图将其分析原理及方法引入陆相盆地研究。吐哈盆地和准噶尔盆地是我国中生代大型陆相拗陷盆地,有关本区的层序地层学和烃源岩研究的文章很多。纪友亮认为,构造和气候是影响陆相层序地层形成的主控因素^[2]。代世峰运用 TOF-SIMS 研究了该区不同沉积相中显微组分的生烃潜力^[5]。吐哈盆地与准噶尔盆地在 J_2x 以前,有着较为相近的大地构造及古气候环境条件,故二者至少在早中侏罗世 J_2x 期以前,有着较好的可比性。本次研究以油气赋存条件较好的吐哈盆地台北凹陷和准噶尔盆地南缘的 J_2x 煤层为例,来探讨本区的层序地层学与沉积有机相间的关系。

2 本区层序地层格架

吐哈盆地台北凹陷层序地层格架见表 1。杨瑞财^[4]根据台北拗陷侏罗系存在的四个不整合面,划分出 3 个层序,10 个体系域,现采用杨瑞财的划分方案,简述如下:

层序 I: 底界为三叠系与早侏罗世八道湾组(J_1b)

之间的印支运动形成的不整合面,顶界为西山窑组(J_2x)与三间房组(J_2s)间燕山运动 I 幕形成的不整合面。第 I 层序形成于温暖潮湿气候条件,树蕨、银杏、松柏、木贼、苏铁类植物十分发育。 J_1b 时,为低位期的河流、三角洲及湖泊沼泽沉积,形成水进期巨厚煤层。 J_1s 时,为第 I 层序的湖侵时期,沉积了一套灰绿色泥岩、页岩、粉砂岩的浅湖相沉积。 J_2x 前期,是 J_1s 湖侵体系背景下发展起来的湖泊沉积和三角洲沉积,并发育煤层; J_2x 后期,气候已经明显有转往半干热的亚热带气候的迹象。燕山运动 I 幕后,第 I 构造层序也随之结束。

层序 II: 为整个 J_2s 组段,下部以 J_2x 与 J_2s 之间的燕山运动 I 幕不整合面为界,上部则为 J_2s 与 J_2q 间的不整合面所限。这期间,喜干热的 *Classopollis* 分子含量增加,而湿热的分子,如三角孢,桫椤孢等减少,已经渐渐转变为半干热的亚热带气候,沉积物总体上为一套紫色、褐色、灰绿、紫红色的泥岩与浅灰、灰白、灰紫色砂岩粉砂岩沉积,反映了相对干旱的浅水的环境。

层序 III: 吐哈盆地从七克台期已经进入第 III 构造层序,直至侏罗纪结束后发生的燕山运动 II 幕所形成的不整合面作为此层序顶界并将之与白垩纪地层隔开。 J_2q 初期,气候又一度短暂转为暖湿,在其低位及湖侵期出现泥炭及煤线沉积。台参 2 井处在 J_2q 湖侵时形成半深湖相泥岩和少量油页岩,但至 J_2q 中期后,气候又开始向炎热、干燥转变,至侏罗纪末期,湖泊在本区已经全部消亡,取而代之的是长期河流环境,以齐古组、喀拉扎组的红色砂质泥岩为主体。

① “九五”国家重点科技攻关项目(96-110-01-02-04)

收稿日期: 1999-04-07 收修改稿日期: 1999-07-08

表 1 吐哈盆地台北凹陷侏罗系层序划分表

Table 1 The division of the Jurassic sequence in Taibei sag of the Turpan-Hami basin

地层系统				层序边界及地震反射标志层	构造运动	古气候	台北凹陷层序地层			
系	统	组	段				体系域	层序		
白垩系				SB ₄ T _k	燕山运动中期 (燕山运动 II 幕)	干热	HST	III		
	上统	喀拉扎组 齐古组					TST			
侏罗系	中统	七克台组	中、上部	T _{1₂q}	燕山运动早期 (燕山运动 I 幕)	湿热	LST	II		
			下部				SB ₃		HST	
		三间房组	三 + 二段	SB ₂		一段	TST			
			零段			LST				
			西山窑组			四 + 三段	T _{1₂x}		暖湿	LHST
						二段				EHST
	一段	J _{1_b}	TST							
	下统	三工河组		SB ₁	印支运动			I		
			上						J _{1_b}	LST
			中						J _{1_b}	
		八道湾组								
三叠系										

注: 据杨瑞财(1997), 新疆石油管理局。SB₁—SB₄: 不整合面; T_k: 侏罗系与白垩系界面的地震响应; T_{1₂q}: 七克台组下部砂泥岩夹煤层与七克台组中、上部暗色泥岩段界面响应; T_{1₂x}: 西山窑组二段煤层集中段与上、下围岩界面响应; T_{1_b}: 八道湾组顶部煤层与上下围岩界面响应; HST: 高位体系域; LHST: 晚期高位体系域; EHST: 早期高位体系域; TST: 湖侵体系域; LST: 低位体系域。

3 层序变化与沉积有机相旋回

从层序地层学的角度考察沉积有机相在陆相盆地上的纵向充填序列及变化规律, 在国内外研究中实例不多。本次研究中, 将吐哈盆地陵深 1 井早侏罗世 J_{1_b} 和 J_{1_s} 地层和台参 2 井的中晚侏罗世地层接成一个示意性的综合剖面, 以期根据整个剖面上泥岩有机质类型、丰度变化、有机地化和无机地化参数的变化, 找出体系域与沉积有机相间的对应关系。就泥岩而言, 荧光有机组分指数^①、TOC、S₁+S₂ 代表有机质丰度与生烃潜能; SiO₂+Al₂O₃ 含量可表示沉积区距物源区的距离; Ca/Mg 表示沉积介质深度变化; Sr/Ba 表示介质的盐度和还原程度; P、Sr/Cu 反映气候变化。它们在纵剖面上的变化, 既能反映不同沉积体系域的变化, 也能反映不同类型的沉积有机相旋回。

图 1 是综合剖面上的各种有机岩石学、有机地化、无机地化参数变化图。有机质丰度高, 类型好、生烃潜能高的泥岩大体上分布在湖侵体系域内, 或早期高位体系域内及晚期低位体系域内, 这可能是在这个阶段中, 往往覆水加深, 介质还原型较强, 且比较稳定, 故可形成与保存有机质类型较好、丰度较高的泥岩。另外, 从 Al₂O₃+SiO₂ 变化上看, 除了个别点外, 总的看来湖侵体系域的 Al₂O₃+SiO₂ 要低于其它体系域, 暗示着沉积区距物源区较远; Ca/Mg 高值一般也多出现在湖

侵体系域内, 只是其他体系域内的煤线或炭质泥岩, 如果有后期碳酸盐脉出现, 也会影响 Ca/Mg 的变化; Sr/Ba 比值广泛应用于海陆交互相地层的沉积环境分析, 因为 Ba 属于难迁移的元素, 离岸越远, Ba 含量越低; Sr 的情形正与 Ba 相反, 它的迁移能力要远远大于 Ba, 离岸越远, 盐度越高, Sr 含量越高。本次研究试图将其应用于内陆盆地分析。从综合剖面上 Sr、Ba 变化趋势也正好相反。J_{1_b} 低位体系域中, Ba 最高, Sr 最低, 而在 J_{2_q} 湖侵体系域内, Sr 最高, Ba 最低, 从 Sr、Ba 变化还可间接推出陵深 1 井的 J_{1_s} 期湖侵及台参 2 井 J_{2_s} 期湖侵可能要较之台参 2 井 J_{2_q} 期湖侵要小得多。当然, 仅仅 Sr、Ba 判断并不完全可靠, 众所周知, 在 Ca 含量较高时, Sr 含量也会异常高, 故还须综合其他地质证据作出判断。

P 与 Sr/Cu 都是对古气候变化反应较为灵敏的元素和元素对。沉积岩中 P 元素富集与生物有关。若炎热气候下水体蒸发引起盐度急剧增高, 某些低等生物因此不适应这种高盐度而死亡并参与成岩, 从而使其层位的 P 元素相对富集, 显然, P 元素含量相对高的层段表示干旱炎热条件下的高盐度环境。泥岩中 Sr/Cu 介于 1.3~5.0 时指示的是温湿气候环境, 而大于

① 荧光有机组分指数是作者提出的有机岩石学参数, 计算方法是以后角质体为统一有机基, 以肖贤明生烃指数为基础变换而成。

5.0 时指示的是干热气候^[6]。从 P 与 Sr/Cu 的变化趋势看, J₂q 在湖侵期间, 气候就已经开始向炎热、干旱的方向转换, 这与人前的分析基本一致。三间房期整个处于较干热的气候条件下 (P 有反映, Sr/Cu 不明显), 这与前人的分析结论也基本一致。

煤层中 Sr 与 Ba 的分离不明显, 故它们与 P、Sr/Cu 响应极好, 共同反映了泥炭沼泽发育过程中的古气候演变。图 2 是准噶尔盆地南缘 J₂x 中上部煤层与下部煤层中 Sr、Ba、P、Sr/Cu 的变化。由图可见 J₂x 下部煤层中 Sr、Ba、P、Sr/Cu 相对于中上部煤层要高出很多, 说明 J₂x 早期的泥炭沼泽古气候要相对干燥一些, 孢粉分析也表明, 下部煤层裸子植物花粉占优势, 而

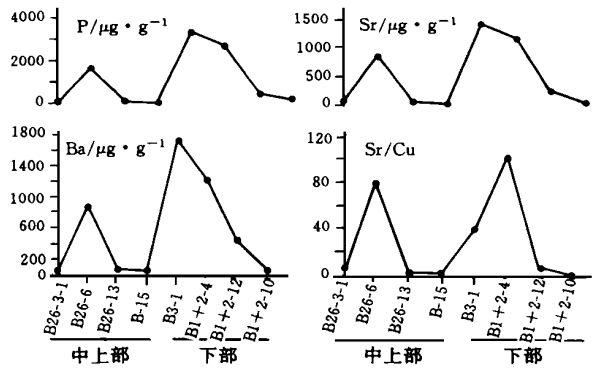


图 2 准噶尔盆地南缘 J₂x 组各示意性煤层剖面煤中 P、Sr、Ba 和 Sr/Cu 变化图

Fig. 2 The change of The P, Sr, Ba and Sr/Cu in the J₂x hint section of the coal bed in southern Junggar basin

上部煤层则以蕨类孢子占优势, 这与煤相学分析也是一致的。

由于每一个沉积有机相也会有一定的有机岩石学及有机地化和无机地化指标相对应, 因此, 从上面综合剖面图上各种参数在不同体系域中变化表明, 无论是从古气候, 还是从古地理环境的角度分析, 层序地层学中每个体系域, 都能与某几个沉积有机相比较好的呼应。在层序地层学的大格架下, 这些沉积有机相在纵向上有规律的重复出现, 体现出良好的镜象式对称的旋回性。表 2 是一个本区层序格架与沉积有机相对应关系的理想模式, 简要说明如下:

吐哈盆地台北凹陷 J₁b 的低水位体系域发育早期, 虽气候温湿, 雨量充沛, 植物繁茂, 但早期一些低隆起仍在被夷平的过程中, 故沉积区距物源区较近, 这期间形成的泥岩多为 SiO₂+Al₂O₃ 含量相对较高的贫荧光有机组分沉积有机相, 煤则是发育在辫状河及辫状河三角洲上的高位沼泽相煤, 煤中惰质组分含量较高。J₁b 中晚期, 地势更为平坦, 地下潜水面渐渐升高, 介质还原性增强, 在平面上, 向低凹湖水汇集处, 并且在纵向上, 由下至上, 依次会出现干燥森林泥炭沼泽相, 周期性干燥森林泥炭沼泽相, 覆水森林泥炭沼泽相。煤是 V/I 越来越高, 且以均质镜质体和结构镜质体越来越占主导, 含量甚至可达百分之九十以上, 并在局部低凹处可发育富荧光有机组分的半深湖—湖湾泥岩相, 但后者主要发育在 J₁s 全面湖侵时期, 当然, 湖侵是个逐渐发生、增强的过程, 也可以出现其他有机相, 如贫荧光、中等荧光含量泥岩有机相。湖侵体系域发育至晚期, 沉积物可容空间增至最大后, 开始缓慢减小进入高位体系域发育期。上述的各种泥岩和煤的有机

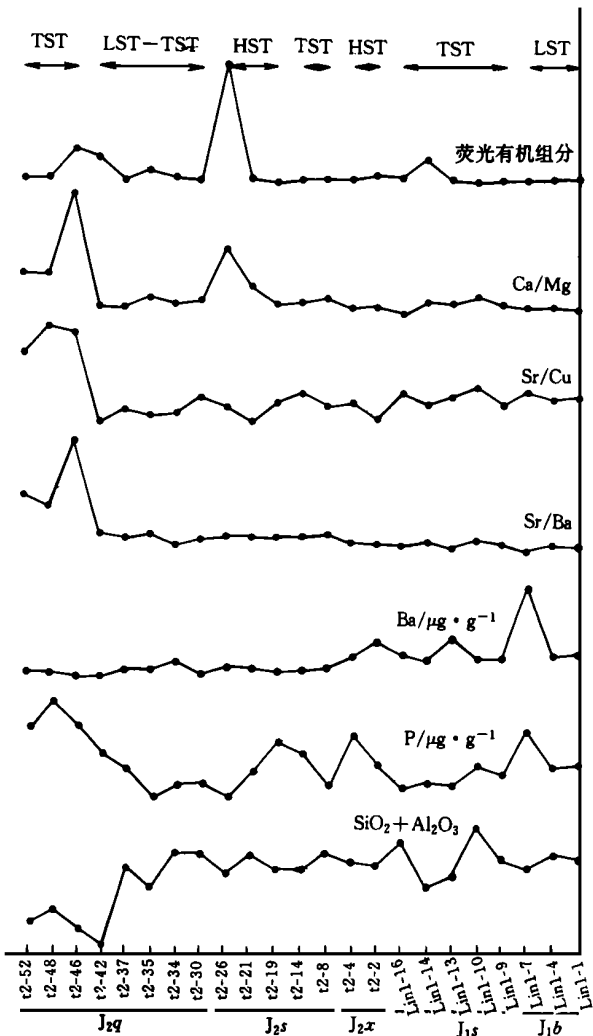


图 1 吐哈盆地台北凹陷早中侏罗世示意性剖面泥岩中荧光有机组分指数、SiO₂+Al₂O₃、Ca/Mg、Sr/Cu、Sr/Ba、Ba 和 P 变化图

Fig. 1 The change of the fluorescent organic constituent index, SiO₂+Al₂O₃, Ca/Mg, Sr/Cu, Sr/Ba, Ba and P in the early-middle Jurassic hint section of the Taipei sag in Turpan-Hami basin

表 2 沉积有机相及生气性能与层序地层关系

Table 2 The relationship among the sedimentary organic facies, gas generating capability and sequence strata

体系	沉积有机相类型		SiO ₂ + Al ₂ O ₃ 变化趋势 (泥岩) 低→高	V/I 变化趋势 (煤) 低→高	荧光有机组分指数变化趋势		有机质类型		生气量变化趋势(总)	
	泥岩	煤			泥岩 低→高	煤 低→高	泥岩	煤	泥岩 低→高	煤 低→高
HST	A	A'					差(Ⅲ)	差(Ⅲ)		
	B	B'					↑	↑		
		B''					↑	↑		
C	C'	较好(Ⅱ ₁ -Ⅱ ₂)	中(Ⅱ ₂)							
	C''									
TST	C	C''					较好(Ⅱ ₁ -Ⅱ ₂)	中(Ⅱ ₂)		
	D	D''*					最好(Ⅰ)	好(Ⅰ)		
	C	C''					较好(Ⅱ ₁ -Ⅱ ₂)	中(Ⅱ ₂)		
LST	C	C''					较好(Ⅱ ₁ -Ⅱ ₂)	中(Ⅱ ₂)		
		C'								
	B	B''					差(Ⅲ)	差(Ⅲ)		
		B'								
A	A''*									

注: A: 贫荧光组分泥岩沉积有机相 1; B: 贫荧光组分泥岩沉积有机相 2; C: 中等荧光组分泥岩沉积有机相 3; D: 富荧光组分湖湾—半深湖泥岩有机相; A' *: 高位沼泽煤有机相, 大致相当于干燥森林泥炭沼泽相; B': 干燥森林泥炭沼泽相; B'': 周期性干燥森林泥炭沼泽相; C': 覆水森林泥炭沼泽相; C'': 强覆水森林泥炭沼泽相; D' *: 半深湖—深湖有机相, 本次工作中未采到此类样品。

相, 又会以低水位时有机相的相反顺序依次出现, 即强覆水森林泥炭沼泽相, 覆水森林泥炭沼泽相……。可见吐哈盆地台北拗陷每个构造运动旋回可容空间总趋势是由小→大→小的过程。这个过程不仅构成了层序地层的低水位体系域, 湖侵体系域, 高水位体系域发育的旋回性。同样也构成了荧光有机组分由小→大→小, 煤的 V/I 由小→大→小的过程, 并进而构成了沉积有机相在横向上和纵向上以湖侵体系中的富荧光泥岩有机相为中心, 向两边、上下呈镜象对称依次展布的旋回系列, 代世峰在研究鄂尔多斯西部乌达矿区煤的有机相时, 亦发现了相同的变化规律^[7, 8]。按照这个理想的模式, 本区有机质丰度较高, 有机质类型较好, 荧光有机组分指数较高, 生气能力较强的各类烃源岩在纵向上, 均应出现在以湖侵体系域为中心的上下层段内, 偏离这个中心越远的 EHST 层段, 其有机质类型、丰度、生气能力也会依次变差。煤作为一种有机质高度富集的特殊有机相, 其主煤层往往出现在 LST 与 TST, TST 与 HST 转折处, 及 LLST—ETST, 和 EHST 层段内。

植物化石组合上也有相似的变化规律^①, 如准噶尔盆地 J_{1b} 组上部, 即低水位体系晚期(LLST)真蕨类植物增多, 约为全部植物种属的 40.8%, 银杏占 18.4%, 松柏类占 18.4%, 苏铁类植物则少见; 至三工河组为湖侵体系域, 真蕨种属种类达到最高, 约为

42.2%, 银杏, 松柏类也相应增加, 各为 20%, 苏铁类植物种属此时最少, 仅为 9.0%。J_{2x} 下部反映了早期高水位体系域的生态环境(EHST), 真蕨类数量减少, 仅为 34%, 银杏和苏铁类则分别增加到 23.7%, 17.5%。J_{2x} 上部则又反映了晚期高水位—早期低水位体系域的环境, 真蕨类植物又有增加的趋势, 达 38.2%, 银杏为 24.5%, 苏铁类则下降为 14.7%, 松柏类占 10.8%。由此可见, 真蕨类植物种属在地层的纵向充填序列上的变化旋回性十分明显。水进期, 真蕨类植物趋于增多, 至全面湖侵时, 真蕨类种属种类达到顶峰, 但到水退期, 则又开始减少。当然, 这种周期性变化绝不会简单的重复。总的看来, 吐哈盆地和准噶尔盆地在侏罗纪时具有的气候从温湿走向干旱, 苏铁类植物从 J_{1b}—J_{2t} 有不断增加的趋势, 而真蕨植物则有减少的趋势。

有必要再一次强调指出, 表 2 仅仅是我们提出的沉积有机相赋存在层序地层中一个“理想模式”。所谓理想模式, 是指古构造、古气候、物源供应、包括生物先质的提供, 以及古地形地貌环境合理的配置, 才可能完整出现这种模式, 否则不可能出现。例如本区三间房期, 尽管 LST、TST、HST 三种体系域齐全, 但并不出

① 任德贻, 杨建业, 赵峰华等. 新疆地区侏罗纪煤系有机相和气聚集带关系研究报告. 北京: 1998

现各类相和富荧光泥岩有机相, 主要因为古气候此时已经转干热, 不利于有机质的充足供应。本次研究所提出的理想模式, 仅是初步的探索, 对盆地的构造运动、陆源区及其变化等诸多因素考虑甚少, 均有待于深化。

致谢: 本文得到中国矿业大学北京校区张鹏飞教授的指导, 孙俊民博士、代世峰博士给以具体建议, 赵峰华博士、许德伟硕士参加了部分研究工作在此一并致以衷心感谢!

参 考 文 献

1 李思田. 鄂尔多斯盆地东北部层序地层学及沉积体系分析 [M]. 北京: 地质出版社, 1992

- 2 纪友良, 张世奇. 陆相断陷湖盆层序地层学 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1996
- 3 吴因业. 新疆侏罗系盆地层序地层学与储层特征 [D]. 国际 30 届地质大会中国博士后文集. 北京: 石油工业出版社, 1996
- 4 杨瑞财, 吴元燕, 赵志刚. 吐哈盆地台北凹陷陆相侏罗系层序形成主控因素探讨 [A]. 见: 顾家裕, 邓宏文, 朱筱敏主编. 层序地层学及其在油气勘探开发中的应用 [C]. 北京: 石油工业出版社, 1997: 46~51
- 5 Dai Shifeng, Ren Deyi, Yang Jianye *et al.* TOF-SIMS study of the hydrocarbon-generating potential of mineral-bituminous groundmass [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2000, 74(1): 84~92
- 6 A. 莱尔曼主编, 王苏民等译. 湖泊的化学地质学和物理学 [M]. 北京: 地质出版社, 1989
- 7 代世峰, 任德胎, 唐跃刚等. 乌达矿区主采煤层泥炭沼的演化及其特征 [J]. *煤炭学报*, 1998, 23(1): 7~11
- 8 代世峰, 艾天杰, 焦方立等. 内蒙古乌达矿区煤中硫的同位素组成及演化特征 [J]. *岩石学报*, 2000, 16(2): 269~274

The Distribution of Sedimentary Organic Facies in the Continental Facies Sequence Stratigraphic Framework: an example from Middle Jurassic coal-bearing series in the Taibei sag of the Turpan-Hami basin and Southern Junggar basin

YANG Jian-ye¹ REN De-yi² SHAO Long-yi²

1(Xi'an Institute of Mining and Technology, Xi'an 710054) 2(China University of Mining and Technology, Beijing 100083)

Abstract

The generation and development of sedimentary organic facies are controlled by many factors, such as palaeoclimate, palaeostructure and palaeogeography etc. It is known that these factors have changed periodically in the geological history, and this change must have led to periodical changes of sedimentary organic facies. This can be indicated by distribution of the sedimentary organic facies in the time-stratigraphic framework or sequence stratigraphic framework. Due to the lateral variation in the palaeoenvironments, many types of sedimentary organic facies can develop all over the basin during a single period. The lateral zonation of organic facies can be reflected in their vertical superimposition, which to some extent follows the Walther's law. The sedimentary systems tracts in the sequence stratigraphic framework have been proved to be effective methods to analyze regularities and to predict nature of the organic petrology, organic geochemistry and non-organic geochemistry of the potential source rocks.

Based on the above knowledge, the organic petrological, geochemical and palynological methods have been used to analyze the distribution of the sedimentary organic facies in the continental facies stratigraphic framework of the middle Jurassic coal-bearing series in Taibei sag of the Turpan-Hami basin and the southern Junggar edge. Turpan-Hami and Junggar basins are typical basins of which hydrocarbon generated from coal measure in China and the continental facies sequence stratigraphic framework in this area have been studied by many scholars and experts. In the mudstone, the organic quantity and potential hydrocarbon-generating ability are indicated by fluorescent organic constituent index, TOC, S_1+S_2 . The distance from provenance is revealed by $SiO_2+Al_2O_3$ content. The deep change of sedimentary media is indicated by Ca/Mg. The salinity and reducibility of media is reflected by Sr/Ba. Climate change is indicated by P, Sr/Cu, and the both change of the different sedimentary system tract and cycling of the different types sedimentary organic facies can be reflected by all of these change in vertical profile. The results show that, in general, all types of organic sedimentary facies show vertically symmetrical distribution centered at the transgressive systems tract (TST). The best hydrocarbon source rocks are preserved in the middle part of the TST, and the potential for hydrocarbon generation becomes poor upwards and downwards from this position.

Key words continental facies sequence stratigraphy sedimentary organic facies Jurassic Turpan-Hami basin Junggar basin