

松辽盆地白垩系青山口组黑色页岩的 形成环境及海水侵入的底流模式

王璞璩 王东坡 杜小弟

(长春地质学院能源系) (南京大学地球科学系)

[内容提要] 通过对中央拗陷区两口钻井剖面和东南隆起区野外露头剖面的沉积学、矿物学和地球化学研究,认为松辽盆地白垩系青山口组黑色页岩形成于稳定分层的湖相环境,周期性海水注入形成的底流是导致水体分层和黑色页岩沉积的重要因素。

关键词:松辽盆地 白垩系 黑色页岩 近海内陆盆地 周期性海水注入

1 前言

白垩纪青山口期是松辽盆地首次最大湖侵期,青山口组黑色页岩是该油气盆地的主要烃源岩之一。迄今在松辽白垩系层序中尚未发现典型海相化石。因此一般认为松辽盆地是一陆相盆地。近几十年来在松辽白垩系层序中陆续发现了微咸—半咸水生物化石(张弥曼等,1977;高瑞祺等,1992)。此外,在青二、三段生物灰岩中鉴定出(伊利石质)海绿石(刑顺全等,1985),青一段鉴定出白云质泥灰岩(刘平略等,1985)。这些特征均说明青山口期的松辽盆地水体已趋于咸化。但导致水体咸化的原因是什么?是海水注入还是大型内陆湖泊自身咸化?这样一个基本问题始终未得出有说服力的答案。本文从青山口组黑色页岩的形成环境入手,通过沉积学、矿物学和地球化学研究,证实青山口组自生矿物的同位素组成有同期海水来源,周期性注入的海水是导致水体咸化和油页岩形成的重要因素。

2 沉积层序、结构构造和矿物组合特征

选择中央拗陷区和东南隆起区这两个典型单元为研究靶区,青山口组沉积层序主要由暗色泥岩、油页岩、含介形虫泥岩、介形虫层及深色泥晶灰岩组成(图1)。泥岩中除普遍含有介形虫化石外,还富含叶肢介、双壳类化石和完整鱼化石或鱼化石碎片。泥质粉砂岩、粉砂岩常与泥质岩互层产出,白云质结核、生物灰岩(薄层或透镜体)及叠层石灰岩常呈夹层。泥岩多具水平—断续水平层理。粉砂质泥岩、泥质粉砂岩呈夹层(数厘米至20cm厚),水平—断续水平层理、波状层理、变形层理及水平—斜交虫孔和生物搅动构造。层序中常见下伏岩层

的塑性同生泥质角砾。介形虫层与下伏岩层界线清楚,呈突变接触,向上介形虫逐渐减少,呈渐变关系。粉砂岩夹层底部多具弱冲刷,顶部与上覆层界线清楚呈突变接触。与现代环境的研究结果对比,青山口组黑色页岩形成期沉积环境的一个显著特点是底流作用强而频繁。Shanmugam等(1993)对墨西哥湾200m水深附近的半深海—浅海斜坡处上新世—更新世固结沉积层序中反映底流作用的沉积特征进行了详细研究。该区位于美国德克萨斯州花园海岸,Loop海流在强风暴作用下形成周期性底流对海底沉积作用发生显著影响。周期性底流作用的主要标志是在纹层状泥质沉积物中夹有薄层粉—细砂质沉积,而粉细砂质层中常见各种牵引流构造(traction structures),如波状层理、流水波痕、水平纹理及脉状层理和压扁层理等。周期性底流作用的主要特征是粉—细砂质夹层中的各种牵引流构造在层序中呈不连续分布,即它们不是像浊积岩那样在垂向上构成一套完整的鲍马序列。墨西哥湾花园海岸底流沉积序列的主要特点为:①深水泥质沉积层序中夹薄层状粉—细砂层(多 $<5\text{cm}$),二者韵律互层;②砂质层顶部呈突变,底部突变或渐变或被冲刷接触;③砂质组分分选好、杂基少;④水平纹理或低角度交错纹理及透镜状层理,发育不完善的波痕、脉状层理和压扁层理;⑤波痕的脊保留完好或被侵蚀。

与墨西哥湾的底流沉积层序相比,青山口组暗色泥岩层序除具备上述沉积特征外,还经常发育有同生变形层理和塑性泥质角砾等同沉积底流冲刷—滑塌构造(图1和图2)。由此可以推测,在青山口组黑色页岩形成时期,周期性的底流活动应是十分活跃的。

陆源碎屑矿物主要为石英、钠长石、钾长石、斜长石和白云母,长英质碎屑粒径 $5\text{—}30\mu\text{m}$,以 $15\text{—}25\mu\text{m}$ 为主,棱角状—次棱角状。白云母为 $7\text{—}13\mu\text{m}$ 片状。

自生硫化物有黄铁矿、闪锌矿和方铅矿。自然金主要呈铜金矿。黄铁矿单晶 $5\text{—}8\mu\text{m}$,立方体、八面体和五角十二面体;集合体呈草莓状、链状,“铁十字”双晶体和煤烟状。黄铁矿与自生粘土矿物和碳酸盐矿物共生(局部亦见与石膏及重晶石共生),彼此界线清楚成分突变,局部见自生方解石和沸石被黄铁矿交代,闪锌矿单晶 $1\text{—}5\mu\text{m}$,立方体及半自形—它形晶,与自生粘土矿物、黄铁矿和方铅矿共生,局部与石膏及沸石共生,彼此界线清楚、成分突变。方铅矿粒径 $5\mu\text{m}$ ±,半自形晶,与自生粘土矿物及闪锌矿共生。自然金为 $6\text{—}7\mu\text{m}$,絮状或云朵状,含铜 40% ±,属铜金矿,与自生沸石、长石、黄铁矿及方解石共生。

除硫化物和自然金外,自生非粘土矿物主要为碳酸盐矿物(方解石、白云石、菱铁矿和菱锰矿)和硫酸盐矿物(石膏和重晶石)

方解石: $2\text{—}5\mu\text{m}$,半自形,与八面体及“铁十字”黄铁矿、白云石、菱铁矿、菱锰矿和自生伊利石共生,局部可被黄铁矿交代(黄铁矿化方解石),亦可交代碎屑石英,或与菱锰矿、菱铁矿呈类质同象或混晶矿物(该类矿物中各元素的原子百分比(ATOM.%)分别为:Ca=19—22,Mn=32—53,Fe=9—28,Mg=5—6)。

白云石: $20\mu\text{m}$ ±,菱形,Ca:Mg原子比约1:1,为典型白云石;与方解石、菱铁矿、菱锰矿共生并呈类质同象(或混晶)矿物,同时与五角十二面体黄铁矿、自生伊利石和柯绿泥石共生。

菱铁矿与菱锰矿: $5\text{—}10\mu\text{m}$,均未见纯净者,主要与方解石及白云石呈类质同象或混晶过渡类型矿物。

石膏与重晶石: $10\mu\text{m}$ ±,半自形,与自生沸石、绿泥石及它形黄铁矿和闪锌矿共生。

自生粘土矿物有伊利石、绿泥石、沸石、蒙脱石和高岭石。伊利石(水白云母): $<2\mu\text{m}$,集

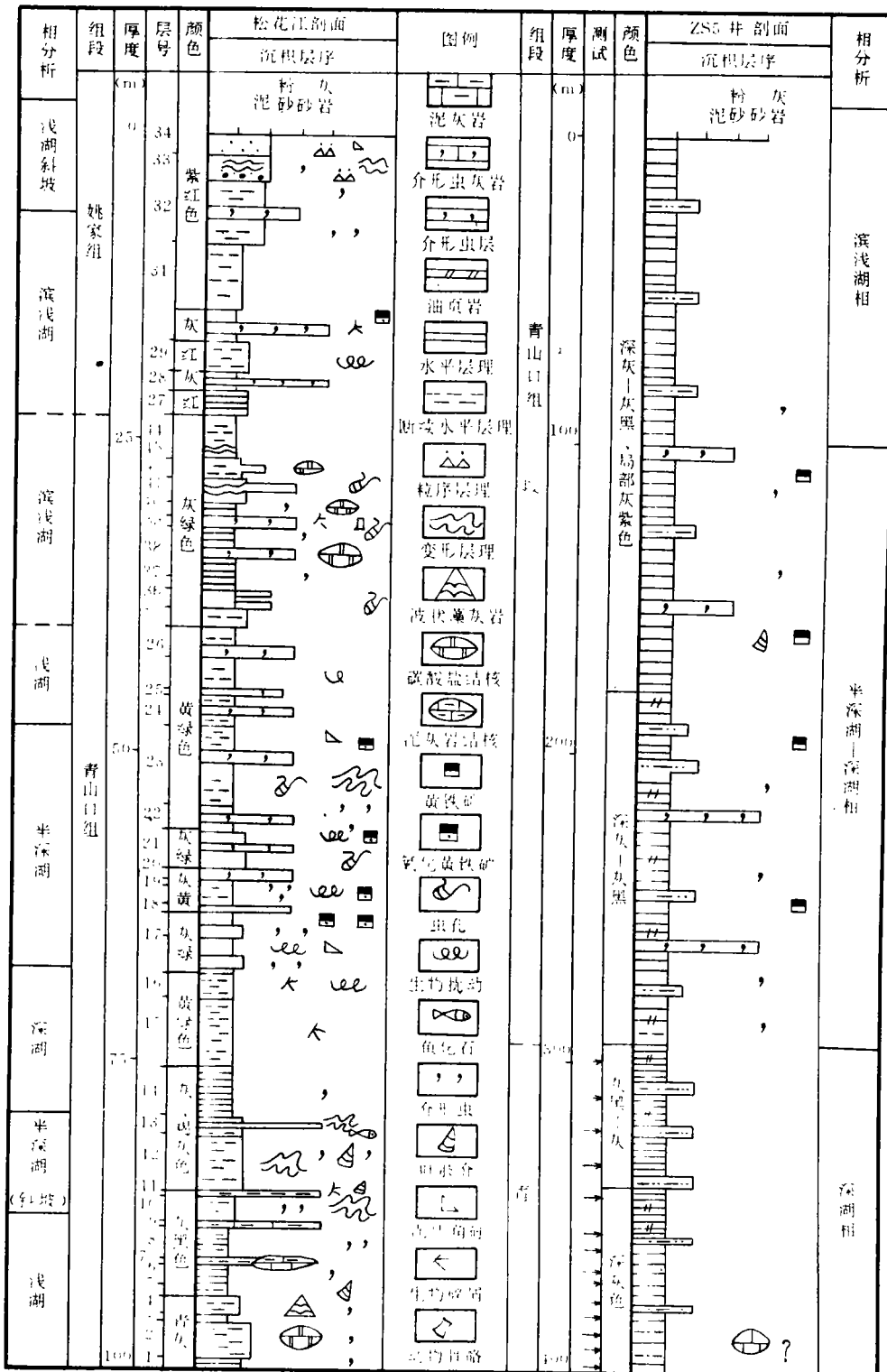


图 1 松辽盆地青山口组沉积层序与沉积相

Fig. 1 Sedimentary sequences and facies in the Qingshankou Formation, Songliao Basin

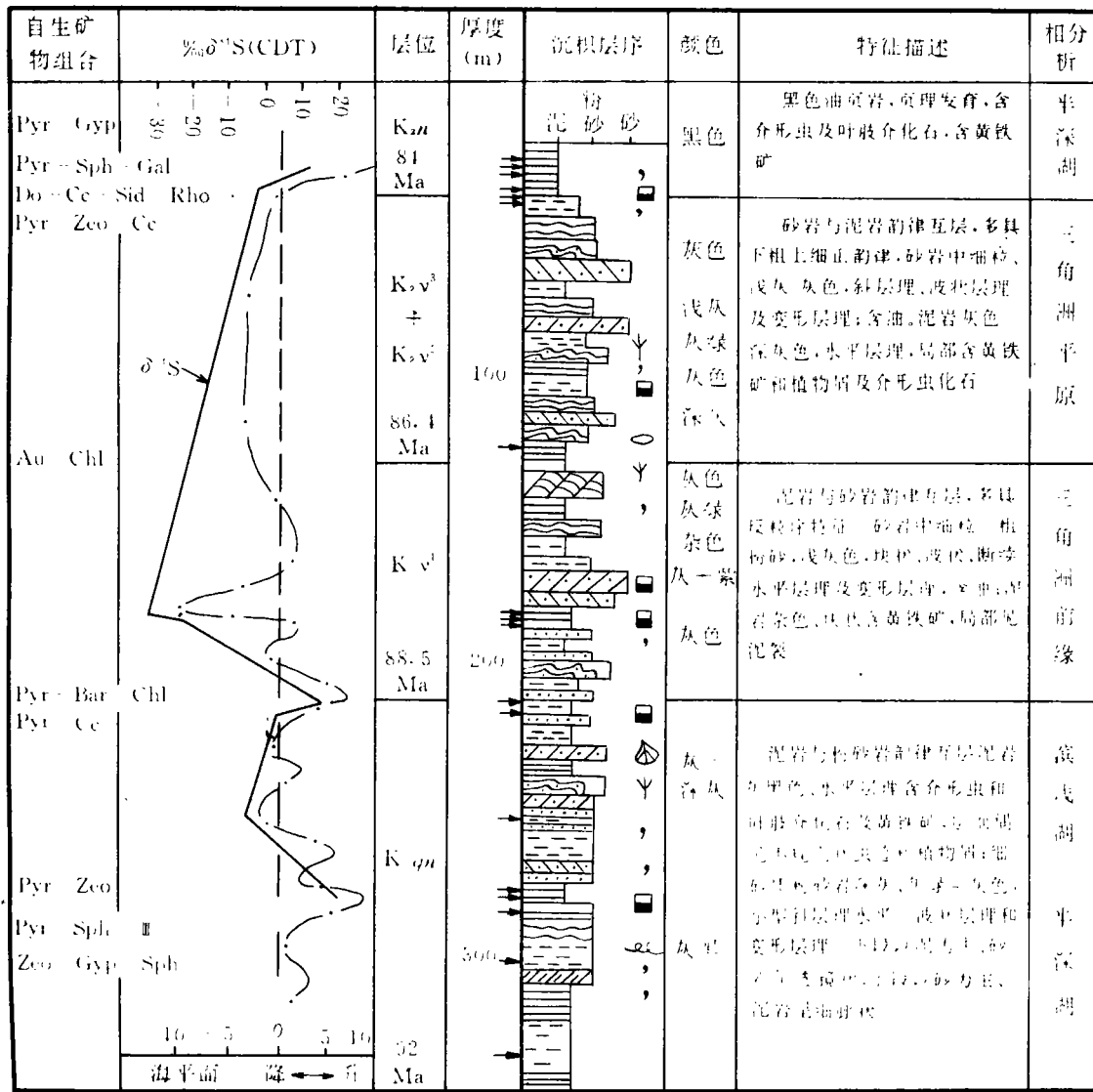


图2 松辽盆地青山口—嫩江组沉积层序、矿组组合、 $\delta^{34}\text{S}$ 和海平面升降曲线 (刻度为海水-淡水混合度, 中央拗陷, 三肇地区)。

- 1. 水平层理; 2. 断续水平层理; 3. 波状层理; 4. 爬升层理; 5. 砂泥韵律层理; 6. 变形层理; 7. 斜层理;
 - 8. 介形虫及叶肢介; 9. 双壳化石; 10. 植物屑; 11. 虫迹; 12. 黄铁矿; 13. 钙质结核; 14. 电镜与同位素样采样点;
- Pyr. 黄铁矿; Sph. 闪锌矿; Gal. 方铅矿; Gyp. 石膏; Bar. 重晶石; Au. 自然金; Do. 白云石; Cc. 方解石; Sid. 菱铁矿; Rho. 菱锰矿; Ill. 伊利石; Zeo. 沸石; Chl. 绿泥石

Fig. 2 Sedimentary sequences and facies, mineral associations, $\delta^{34}\text{S}$ and sea-level changes in the Songliao Basin

- 1=horizontal bedding; 2=discrete horizontal bedding; 3=wavy bedding; 4=climbing bedding;
 - 5=rhythmic bedding of sand and mud; 6=deformed bedding; 7=oblique bedding;
 - 8=ostracods and *Estherites*; 9=bivalves; 10=plant remains; 11=burrow; 12=pyrite;
 - 13=calcerous nodule; 14=sampling site of the Em and isotopic samples
- Pyr=pyrite; Sph=spherite; Gal=galena; Gyp=gypsum; Bar=barite; Au=gold; Do=dolomite; Cc=calcite; Sid=siderite; Rho=rhodochrosite; Ill=illite; Zeo=zeolite; Chl=chlorite

合体呈磷片状,与碳酸盐矿物和黄铁矿、闪锌矿共生。绿泥石: $<2\mu\text{m}$,磷片状集合体,主要为铁镁绿泥石类,与方解石、黄铁矿及重晶石共生。沸石:磷片状集合体,单晶 $1-3\mu\text{m}$,与方解石、黄铁矿、闪锌矿、自生长石及石膏共生,主要为钙沸石(方沸石族)—钙十字沸石。蒙脱石:磷片状集合体,单晶 $1-3\mu\text{m}$,与高岭石共生。高岭石:磷片状集合体,单晶 $1-3\mu\text{m}$,与蒙脱石共生。

重矿物有锡石和独居石。锡石:形态不规则, $5\mu\text{m}$ ±,夹于方铅矿与闪锌矿之间(说明硫化物形成于同生期)。稀土磷酸盐矿物(独居石?): $10\mu\text{m}$ ±,次圆状。

3 地球化学特征

对松辽盆地三肇地区岩芯和东南隆起区露头剖面的青山口组暗色泥岩进行了系统采样,选取其中 116 块样品测定二十四种微量元素和常量元素,暗色泥岩中元素分布特征列于表 1,元素间相关关系列于表 2。

在中央拗陷区暗色泥岩层序中,选择富集成层或草莓状结核的黄铁矿样品,碎至 40—60 目(约 0.2—0.5mm),双目实体显微镜下挑选出纯净黄铁矿样品($>1\text{g}$),MAT-230C 型同位素质谱仪测定其中 $\delta^{34}\text{S}\%$;结果绘于图 2。

表 1 青山口组黑色原岩化学成分(Si—Mg 为氧化物%;其它以 $\mu\text{g/g}$ 表示;N=116)

Table 1 Chemical compositions of the black shales in the Qingshankou Formation, Songliao Basin
(Si—Mg in %; the others in $\mu\text{g/g}$; the sample numbers are equal to 116)

Elements	Range	Mean	RD	RSD
Si	48.51—60.32	54.87	3.80	.07
Ca	3.40—8.31	5.45	1.61	.30
Fe	4.96—6.29	5.84	.39	.07
Al	13.69—15.68	14.95	.68	.05
K	2.69—3.20	2.97	.17	.06
Na	1.27—1.80	1.40	.16	.11
Mg	1.73—3.24	2.50	.40	.16
Ti	3053.00—4440.00	3482.67	361.03	.10
Mn	518.00—803.00	645.75	96.01	.15
Cr	47.40—91.40	60.65	11.84	.20
Ba	435.00—6964.00	1246.92	1813.50	1.45
Sr	287.00—545.00	398.67	81.79	.21
Rb	122.00—147.00	136.42	7.22	.05
Ni	23.00—34.60	26.45	3.44	.13
Ga	18.20—21.70	20.31	.93	.05
Co	15.70—22.70	19.14	1.67	.09
V	113.00—170.00	128.42	15.08	.12
Zn	108.00—171.00	119.25	18.50	.16
Y	18.90—64.60	25.67	12.65	.49
Pb	9.05—50.60	21.30	10.75	.50
Cu	31.90—54.80	39.04	7.01	.18
P	642.00—2136.00	1113.50	408.78	.37
Zr	115.00—147.00	130.42	11.24	.09
S	367.00—17374.00	8418.33	3910.07	.46

表2 青山口组黑色页岩中元素间相关关系(N=116, t(0.01)=0.25)

Table 2 Correlation of the elements in the black shales from the Qingshankou Formation, Songliao Basin
(The samples numbers are equal to 116; t(0.01)=0.25)

Couple	R	Couple	R	Couple	R	Couple	R	Couple	R
Si-Ca	-.97	Si-Al	.95	Si-K	.93	Si-Mg	-.79	Si-Mn	-.89
Si-Rb	.71	Si-Zr	.83	Ca-Al	-.93	Ca-K	-.92	Ca-Mg	.73
Ca-Mn	.87	Ca-Zr	-.82	Al-K	.94	Al-Mg	-.84	Al-Mn	-.83
K-Mg	-.81	K-Mn	-.76	K-Rb	.77	K-Zr	.81	Na-Ti	.80
Na-Cr	.74	Na-Ba	.82	Mg-Mn	.79	Ti-Cr	.79	Ti-Ba	.85
Cr-Ba	.84	Cr-V	.87	Ba-V	.88	Sr-Rb	-.82	Sr-Zr	-.84
Rb-Ga	.88	Rb-Zr	.93	Ni-Cu	.80	Ga-Zr	.78	Zn-Y	.90
Cu-P	.84	Cu-S	.76	P-S	.84				

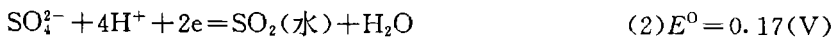
4 青山口组黑色页岩的形成环境及其成因分析

4.1 黑色页岩形成于 pH 值为 7—9±、Eh 值为 0.03—0.2± 的弱碱性至中性、还原环境

青山口组黑色页岩中除含大量黄铁矿外,还存在有闪锌矿-石膏-沸石的同沉积共生组合。根据与现代环境的研究成果比较,在硫化物(单硫化物及二硫化物)与硫酸盐共沉淀的沉积介质中,水介质的酸度在化跃层以上 pH 为 9±,化跃层以下及沉积物表面 pH 为 7± (Bates *et al.*, 1993)。Hay(1978)根据二百余例有关沸石的研究资料和五个现代化环境的研究结果,指出沸石为碎屑组分是十分罕见的,因而是沉积环境(或沉积期后环境)的良好标志,而且其形成介质的 pH 为 8.9—9.9(Hay, 1978, p38)。从石膏(自形, 1—2μm)和闪锌矿(自形, 1—2μm)多包裹于沸石之中的特点看,石膏和闪锌矿形成时间早于沸石,应为沉积期形成,而沸石形成于早成岩期。根据上述矿物共生组合与形成期次关系,及其与相应现代环境的对比,作者推测在黑色页岩沉积期底层厌氧水的 pH 为 7,而在成岩早期孔隙水转为弱碱性, pH 为 8—9。

根据闪锌矿-石膏的矿物共生组合关系,可以近似地计算出黑色页岩形成期古水介质 Eh 为 0.02—0.2 的还原环境。其计算过程如下。

- A. 与 S^{2+} 和 SO_4^{2-} 相关的电化学反应有:



- B. 与 S^{2-} 和 SO_4^{2-} 相关的沉淀反应有:



- C. 由于(3)式沉淀的形成使(1)式电位值升高,由此可求得形成闪锌矿的最高允许 Eh = -0.03, 即:

$$Eh(S/ZnS) = -0.48 + \frac{0.059}{2} \lg \frac{1}{[S^{2-}]} = -0.48 + \frac{0.059}{2} \lg \frac{[Zn^{2+}]}{K_{mp}(ZnS)}$$

注:因页岩中 Zn 平均含量 = 119μg/g(表 1 和表 2),由元素在页岩中含量与在水介质中浓度相关关系(Spears and Amin, 1981),可知 Zn 在水体中浓度约为 10^{-3}mol/L 。

· D. 由于(4)式沉淀的形成使(2)式的电位降低,由此可求得形成石膏的最低允许电位值 $E_h = -0.155$,即:

$$\begin{aligned} E_h(\text{CaSO}_4/\text{SO}_2) &= 0.17 + \frac{0.059}{2} \lg \frac{[\text{SO}_4^{2-}][\text{H}^+]^4}{[\text{SO}_2]} \\ &= 0.17 + \frac{0.059}{2} \lg \frac{K_{\text{mp}}(\text{CaSO}_4) \cdot [\text{H}^+]^4}{[\text{Ca}^{2+}][\text{SO}_2]} \\ &= -0.2 (\text{近似计算结果}) \end{aligned}$$

故,硫化物与石膏共生的电位区间可能为 E_h 为 $-0.03 \sim -0.2$ (V) 左右的(弱)还原条件。

4.2 黑色页岩中自生黄铁矿的硫同位素组成有同期海水来源

对青山口组黑色页岩中几个黄铁矿富集层位进行了采样分析(图2),其硫同位素组成 $\delta^{34}\text{S}_{\text{‰}}$ (CDT) 为 $-4.2 \sim +20.8$, 平均值为 $+9\%$, 标准偏差 $= 11.5$ 。通常认为这种同位素组成的大范围波动,反映黑色岩形成期沉积环境对硫是封闭体系(Bloch and Krouse, 1992), 其中的高值($16.0 \sim 20.8\%$)可以代表古水介质的(硫酸盐)硫同位素组成,是硫酸盐完全被还原的产物,而低值($-4.2 \sim +3.4\%$)则可能是硫酸盐部分被还原、同位素分异作用的结果(Bates *et al.*, 1993)。

青山口沉积时期(Albian—Turonian)是海洋硫酸盐的 $\delta^{34}\text{S}$ 持续升高的时期(12% 升至 20%)。上述黑色页岩中黄铁矿的硫同位素变化特征与同期海水的硫同位素变化趋势相吻合(王璞瑀等, 1995)。由此说明,同期海水的硫同位素组成对青山口组黑色页岩层序中黄铁矿的同位素组成有显著影响,即黑色页岩中黄铁矿的硫同位素组成应有同期海水来源。青一段海侵期的残留海水对青二、三段层序的同位素组成也可能会产生一定影响。

4.3 黑色页岩形成于稳定的分层湖环境

根据湖坡沉积序列与湖心带沉积序列的对比(图1)、盐度分析结果、环境地化指标特征和与其它分层湖模型的沉积特征比较(王璞瑀等, 1995; Desborough, 1978), 可以确定青山口组沉积湖盆水体是分层的,而且这种分层作用是相对持续和稳定的。

图1左图是农安县青山口乡松花江剖面青山口组沉积层序,沉积期位于浅湖—半深湖斜坡相区;右图是中央坳陷 ZS5 井的青山口组沉积序列,沉积期位于盆地中心部位。二者相比,左图的粉砂质夹层、介形虫层夹层和碳酸盐夹层更为发育,尤其是发育有变形层理和同生泥质角砾层等同沉积滑塌层;而右图主要是由一套稳定的暗色泥岩、油页岩组成,偶见粉砂质夹层或介形虫夹层,代表一种厌氧条件下的持续、稳定沉积(图1)。二者对比可以看出,斜坡区的底流作用和滑塌作用,在盆地中心区的主要影响就是周期性地形形成薄的粉砂质夹层,而对湖泊的水体分层和底层厌氧条件无显著影响,因为粉砂质夹层的上下岩性一致,均为代表厌氧条件的纹层状暗色泥岩、油页岩沉积。即使在盆地的斜坡部位底层厌氧条件下也能良好保持,因在同沉积滑塌层的上下也是由暗色泥岩和黄铁矿层组成,说明底流-滑塌事件并没使水介质条件发生显著改变,即从盆地中心到斜坡区,底层水的厌氧条件在整个黑色页岩形成阶段均能得以长期保持。

青山口组的古盐度分析结果也反映出黑色页岩形成期湖盆的水体分层特点,古盐度按沉积带的分带特点是:从滨浅湖→半深湖、深湖,古盐度持续、稳定增加(刘平略等, 1986; 王璞瑀等, 1991), 表明古水体具有盐度分层特点。

青山口组黑色页岩层系中的自生矿物组合与 Jellyfish 湖的相似,该湖是一个现代海水-

淡水混合湖,其水体是稳定分层的,化跃层之下至沉积物界面 pH 和 Eh 值均持续降低 (Bates *et al.*, 1993)。

青山口组黑色页岩中 Mg/Ca 原子比和 (Mg+Fe)/Ca 原子比平均为:青一段=0.63 和 1.39;青二、三段=0.86 和 1.70(表1)。该元素地化特征与 Desborough(1978)所描述的美国始新世绿河组分层湖层序相似。

综上所述,青山口组黑色页岩形成期湖盆水体应是稳定分层的。

4.4 周期性海水注入形成的底流是导致水体分层和黑色页岩沉积的重要因素

青山口组黑色页岩沉积的最主要特征是暗色泥岩和油页岩层序中具薄层粉砂质夹层,粉砂岩中具各种牵引流构造,且在斜坡相带中发育同沉积滑塌层(图1及图2)。与 Shanmugum 等(1993)对现代墨西哥湾浅海-半深海斜坡环境的沉积层序研究结果相对比,青山口组的上述沉积特征反映它明显地受周期性底流作用的影响。

黑色页岩层序的同位素组成和环境地化指标特征(图2)均说明,这种周期性底流的出现与周期性的海水注入有密切联系。此外,湖盆古水介质的盐度、碱度和还原性指标在黑色页岩形成时期普遍升高,并且这些环境地化指标的变化与海平面的波动趋势相吻合(王璞珺等,1995)。

青山口组深湖相黑色页岩层序中的粉砂质浊积岩夹层,近年已经引起许多研究者的注意,其成因多解释成温潮气候期的季节性泄洪作用(刘招君等,1992)。作者(1992)曾通过生物事件和矿物特征的系统分析推测松辽白垩纪湖盆的盐度分层与海水注入形成的底流有关。根据黑色页岩的沉积层序和环境地化特征及其与海平面升降的关系,作者认为青山口组沉积期除泄洪作用外,周期性海水注入是形成底流的重要因素。海水的盐度、密度和有机丰度均较相应的淡水高,因而会导致水体分层,使底层水呈厌氧状态,有利于黑色页岩的形成。

5 青山口组黑色页岩形成期海水侵入的底流模式

通过沉积层序、自生矿物组合、地球化学研究,已知青山口组黑色页岩的成因主要与周期性的海水注入而造成的水体分层和底层厌氧条件有关。

结合盆地的构造-沉积演化史及沉积相和古地理等有关研究成果,作者认为青山口组时期海水可能是通过佳伊地堑经由木兰—宾县—尚志一带注入湖盆(以古松花江为通道?)(图3)。由于当时盆地处于拗陷阶段早期,边缘断裂对盆缘坡度仍有一定控制作用(相对于拗陷晚期的嫩江组而言),盆缘丘陵尚未夷平,所以盆地具有坡度大、从边缘至中心水深变化大和水体较深(?)等特点。

当海水跃过东部分水岭注入湖泊时,由于与淡水间存在密度差,借助盆缘的有利坡度将主要呈底流方式注入湖盆(图3);并在斜坡区诱发同生滑塌沉积和浊流沉积(图1)。当海水-淡水混合比例和 Mg/Ca 比值适宜时便出现准同生白云岩(结核)沉积。海水不仅带来大量有机质,而且海水形成的底流所造成的水体分层和底层厌氧环境有利于有机质的保存,因而导致厚层的黑色页岩沉积。

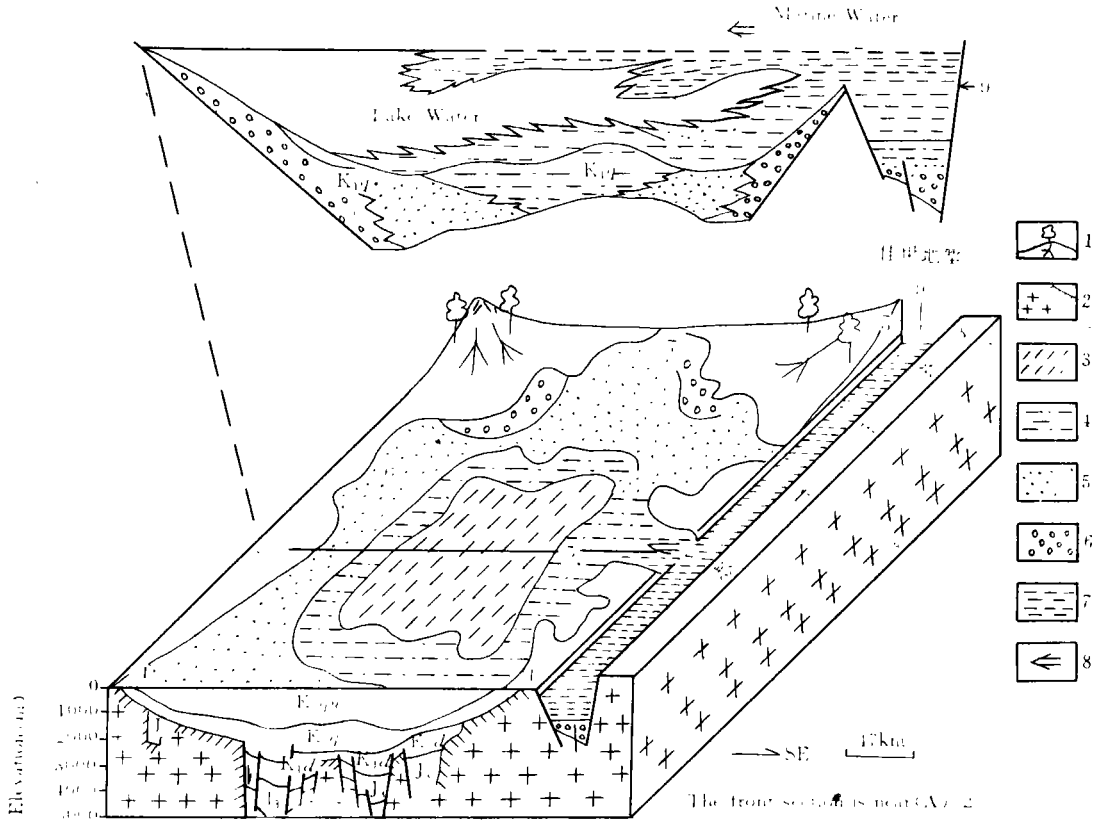


图3 松辽盆地青山口期海水入侵的底流模式

1. 阔叶林丘陵; 2. 基底; 3. 深湖相; 4. 滨浅湖相; 5. 冲泛平原; 6. 冲积扇; 7. 海水; 8. 海侵可能通道;
①长春; ②宾县; ③依兰; ④白城; ⑤哈尔滨; ⑥齐齐哈尔; ⑦嫩江; ⑧张广才岭; ⑨佳伊地堑; A. 泰来

Fig. 3 The bottom current model for seawater encroachment in the Songliao Basin during the Qingshankou stage

1=broad-leaf forest hills; 2=basement; 3=deep-lake facies; 4=littoral and shallow-lake facies;
5=flood plain; 6=alluvial fan; 7=sea water; 8=alternative pathway for marine incursions;

①=Changchun; ②=Binxian; ③=Yilan; ④=Baicheng; ⑤=Harbin; ⑥=Qiqihar; ⑦=Nenjiang;
⑧=Zhangguangcai Range; ⑨=Jiamusi-Yitong graben; A=Tailai

参考文献

王璞珺、王东坡, 松辽盆地黑色页岩沉积与湖泊缺氧事件, 地质专刊, 吉林科技出版社, 265—269 页。

王璞珺、刘招君、刘万洙、杜小弟, 1991, 元素地化-数理统计法在松辽陆相盆地分析中的应用, 沉积学报, 9(3): 31—39。

王璞珺、杜小弟、王东坡, 1995, 松辽盆地白垩纪湖侵沉积层序的地球化学特征与海进/海退事件的地球化学记录, 岩相古地理, 15(3)。

刘招君、王东坡、刘立、刘万洙、王璞珺、杜小弟、杨光, 1992, 松辽盆地白垩纪沉积特征, 地质学报, 66(4): 327—338。

刘平略、周厚清、康桂云, 1986, 松辽盆地元素分布及其与沉积环境的关系, 大庆石油地质与开发, 5(2): 11—18。

刑顺全、肖祝胜、张书贵, 1985, 泰康湖湾海绿石矿物学特征及其形成条件的探讨, 杨万里主编: 松辽陆相盆地石油地

质,石油工业出版社,161—167页。

张弥漫、周家健、刘智成,1977,东北白垩纪含鱼化石地层时代和沉积环境,古脊椎动物与古人类,3:194—197。

高瑞祺、何承金、乔秀云,1992,松辽盆地白垩纪两次海侵的沟鞭藻类新属种,古生物学报,31(1):17—29。

Hay, R. L., 1978. 沉积岩中的沸石及其成因(黄典豪译),地质出版社。

Bates, A. L., Spiker, E. C., Orem, V. H. and Barnett, W. C., 1993. Speoiation and isotopic composition of sulfur in sediments from Jellyfish Lake, Palay, Chem. Geol., 106: 63—78.

Bolch, J., and Krouse, H. R., 1992. Sulfide diagenesis and sedimentation in the Albian Harmon Member, Western Canada. Sedim. Petrol., 62(2): 235—249.

Desborough, G. A., 1978. A biogenic-chemical stratified lake model for the origin of oil shale of the Green River Formation; an alternative to the playa-lake model. Geol. Soci. Ame. Bull., 89: 961—971.

Shanmugam, C., Spalding, T. D. and Rofheart, D. H., 1993. Traction structures in deep-marine bottom current—reworked sands in the Pliocene and Pleistocene, Gulf of Mexico. Geology, 21: 920—923.

Separs, D. A. and Amin, M. A., 1981. Geochemistry and mineralogy of marine and non-marine Namurian black shales from the Tansley Borehole, Derbyshire. Sedimentology, 28: 407—417.

THE ORIGIN OF THE BLACK SHALES AND THE BOTTOM CURRENT MODEL FOR SEAWATER ENCROACHMENT IN THE CRETACEOUS QINGSHANKOU FORMATION, SONGLIAO BASIN, NORTHEAST CHINA

Wang Pujun Wang Dongpo Du Xiaodi

Geoenergy Department, Changchun University of Earth Sciences

ABSTRACT

The study of sedimentary sequences, mineralogy and geochemistry of the black shales in the Cretaceous Qingshankou Formation has revealed that the Songliao nearshore continental basin was affected by periodic transgression/regression of the adjacent marine water from the Pacific Ocean during the deposition of the Qingshankou Formation (88.5—100 Ma). On the basis of the palaeoenvironmental analysis of the black shales, the authors conclude that the bottom current resulted from periodic transgressions may be the main factor which gives rise to the stratification of lake water and the deposition of the black shales in the study area, and a simplified model showing the marine incursions in this area is also proposed.

Key words: Songliao Basin, Cretaceous, black shale, nearshore continental basin, periodic marine incursion