

依兰盆地始新统达连河组油页岩成因新认识

柳 蓉^{1,2,3}, 刘招君^{1,2,3}, 杜江峰⁴, 刘冬青¹, 杨小红¹, 徐银波¹

1. 吉林大学地球科学学院, 长春 130061
2. 吉林大学东北亚生物演化与环境教育部重点实验室, 长春 130061
3. 油页岩与共生能源矿产吉林省重点实验室, 长春 130061
4. 中国海洋石油总公司研究中心, 北京 100027

摘要:综合利用野外露头、岩石矿物组合、有机岩石学、元素地球化学等资料,研究了依兰盆地达连河组含煤-油页岩段与油页岩段油页岩成因。含煤-油页岩段油页岩有机质类型主要为 II₁ 型,油页岩段油页岩有机质类型主要为 II₁-II₂ 型,且都表现为弱氧化-还原特征,但是两者却具有不同的成因。含煤-油页岩段油页岩形成于湖泊-沼泽沉积体系,油页岩形成于湖泛作用基准面上升时期,直接发育在原来沼泽发育的位置,由于该时期水动力很弱,无法带入新的氧气,又有大量的生物生长并且不断原地死亡堆积,形成了有机质很丰富的油页岩。油页岩段油页岩形成于半深湖-深湖体系,该体系中频繁重力流作用的出现,把陆源碎屑带入深湖、半深湖中的时候,也把氧气带入到湖底,不利于有机质的保存,导致该油页岩段的有机质呈混合型以及弱氧化-还原特征。

关键词:依兰盆地;达连河组;油页岩;重力流

中图分类号:P618.12 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5888(2012)04-0941-07

New Research on Oil Shale Origin of Eocene Dalianhe Formation in Yilan Basin

Liu Rong^{1,2,3}, Liu Zhao-jun^{1,2,3}, Du Jiang-feng⁴, Liu Dong-qing¹, Yang Xiao-hong¹, Xu Yin-bo¹

1. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China
2. Key-Lab for Evolution of Past Life and Environment in Northeast Asia, Ministry of Education, Jilin University, Changchun 130026, China
3. Key-Lab for Oil Shale and Coexistent Energy Minerals, Jilin Province, Changchun 130026, China
4. China National Offshore Oil Corporation Research Center, Beijing 100027, China

Abstract: Utilizing comprehensive ways of field outcrops, mineral assemblages, organic petrology and element geochemistry analysis, we study the oil shale features and origins of coal-oil shale bearing and oil shale bearing sections in Dalianhe Formation, Yilan basin. Organic matter type of oil shale organisms in coal-oil shale bearing sections is II₁ and II₁-II₂ in oil shale bearing sections. Oil shale not only in coal-oil shale bearing sections, but also in oil shale bearing sections, are all characterized by weak oxidized-reduced, and with different origins. Oil shale of coal-oil shale bearing sections was generated in lacustrine-swamp systems and was located on the former swamps when the base level was rising. Because the hydrodynamic was relatively weak and oxygen can hardly be renewed, large quantities of plants and animals died and be well buried forming into organism-rich oil shale. Oil shale of oil shale

收稿日期:2011-10-11

基金项目:国家自然科学基金项目(40972076);国家潜在油气资源(油页岩勘探开发利用)产学研用合作创新建设项目(OSP-01);吉林大学科学前沿与交叉学科创新项目(200903035);吉林大学种子基金项目(2011-2012)

作者简介:柳蓉(1976-),女,副教授,博士,主要从事含油气盆地分析和油页岩成矿理论研究,E-mail:liurong@jlu.edu.cn。

bearing sections was generated in deep and semi deep lacustrine systems, in which the gravity flows took place very often. Gravity flows can not only bring terrigenous clastics, but also induce oxygen into the deep and semi deep lacustrine systems. In this environment, organism was poorly preserved. As a result, the organisms in oil shale bearing sections are characterized by mixed ones (II₁-II₂) and weak oxidized-reduced.

Key words: Yilan basin; Dalianhe Formation; oil shale; gravity flow

0 引言

油页岩作为一种常规油气资源重要的替代能源以其巨大的储量、丰富的综合利用层次,引起了全世界的关注。其主要分布于美国、俄罗斯、加拿大、中国、扎伊尔、巴西、爱沙尼亚、澳大利亚等国家^[1-9]。目前,对于油页岩的研究主要集中在综合开发利用方面^[1-10],而在油页岩成矿基础理论方面,除美国绿河油页岩研究程度较高,先后提出了干盐湖复合模式和生物化学分层湖模式^[11-14]外,其他各国研究都较薄弱。

研究区为依兰盆地达连河矿区,位于黑龙江省依兰达连河镇,现为我国著名的露天煤、油页岩矿。达连河矿区始新世自下而上发育两套油页岩,两者

在岩石组合及工业品位等方面具有明显不同的特征。上部油页岩层较厚,与暗色泥岩伴生,含油率较低;下部油页岩与煤伴生,含油率较高^[15-18]。有的学者认为下部油页岩为湖相成因,上部油页岩为浅-半深湖相成因^[17];也有学者认为上下部油页岩均为湖沼相成因^[18]。因此,对于达连河组上下两套油页岩的成因存在很大的争议。笔者拟通过对发育在依兰盆地达连河矿区的两套油页岩开展研究,进一步揭示两套油页岩的成因机制,这将对今后油页岩的成矿研究具有一定的借鉴意义。

目前,该盆地由于露天开采煤和油页岩,油页岩层几乎全部暴露于地表。但是,由于研究区的岩心资料缺乏,测井资料很少,也没有地震资料,因此主要利用野外多条剖面的观测,结合岩性、古生物和地

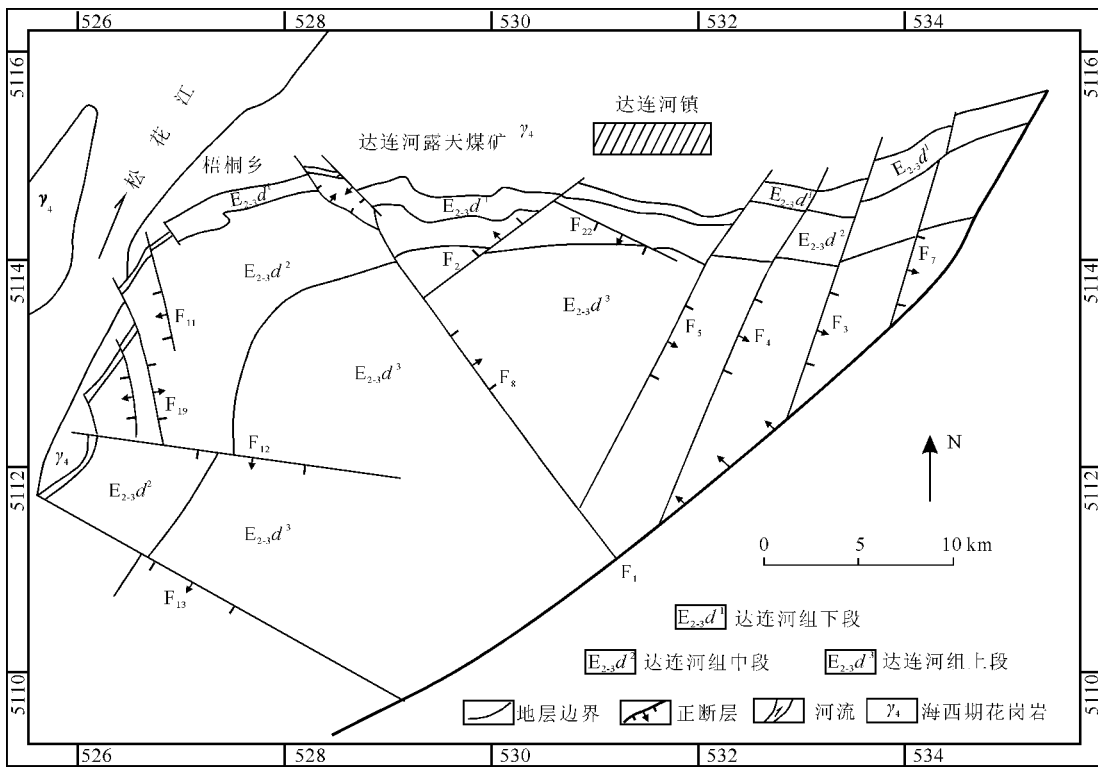


图 1 依兰盆地地质图
Fig. 1 Geological map of Yilan basin

球化学标志等开展研究。野外实测剖面位于达连河矿区的露天矿东北缘,共计实测导线 15 根,总长约 600 m,剖面从达连河组下部一直实测到达连河组的顶部。

1 地质背景

依兰盆地位于郯庐断裂带北延分支——依兰-伊通断裂带,新生代时期,受到依兰-伊通断裂带的控制,形成一个受断裂带南主干断裂 F_1 控制的小型半地堑盆地(图 1)^[16-17],并发育了一套新生代古近纪始新世陆相含煤、油页岩沉积(图 2)。盆地基底岩性主要为前中生界花岗岩,沉积盖层为古近系始新统达连河组。达连河组按岩性组合特点可以分为 3 个岩性段,自下而上分别为含煤-油页岩砂岩段、油页岩段及砂页岩段(图 2)。因此,依兰盆地主要发育两套油页岩:下部第一套与煤伴生,位于含煤-油页岩段;上部第二套油页岩与暗色泥岩伴生,位于油页岩段。

2 油页岩特征

2.1 野外露头特征

依兰盆地达连河组底部为含煤-油页岩砂岩段,油页岩与煤或炭质页岩互层。在含煤-油页岩段油页岩中发育大量的植物化石,种类多为被子类植物化石和松柏类植物化石。

油页岩段主要由黑灰色油页岩夹深灰色薄层粉砂质泥岩组成,其中重力流作用频繁,主要表现为远源浊流性质,主要发育于上段顶和底,而下段和中段不发育。浊流的组合形式多样:有发育完整的 ABCDE 段样式(图 3),也有 CDE 段样式、ACD 段样式和 CD 段样式等,但主要为 CDE 段和 ACD 段样式的鲍马序列。油页岩中水平层理发育,浊流段波纹层理、递变层理、小型槽状交错层理、变形层理发育,局部还出现了虫孔构造,局部巨厚油页岩中发现了直径约 2 m 的浊积岩透镜体(图 4)。

2.2 岩石矿物特征

通过对含煤-油页岩段和油页岩段的油页岩 XRD 定性定量以及扫描电镜分析,含煤-油页岩段和油页岩段油页岩都表现为黏土矿物以高岭石、伊利石和贫伊蒙混层为主的特征(图 5)。其中,含煤-油页岩段中的高岭石的含量明显高于油页岩段的含量。同时,通过对陆源碎屑矿物的分析,含煤-油页岩段油页岩中的石英含量较油页岩段油页岩少。此

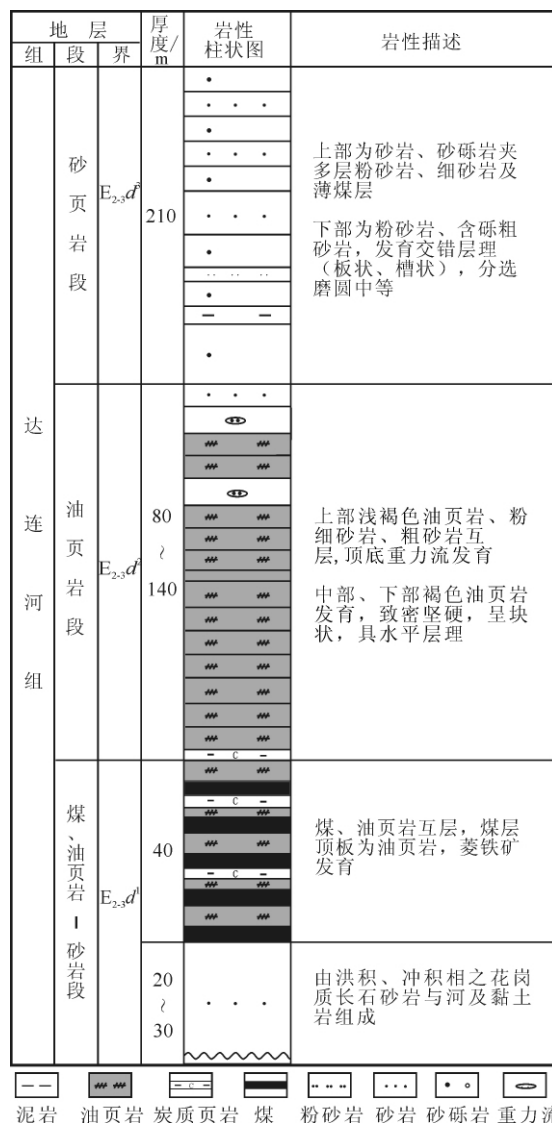


图 2 依兰盆地地层综合柱状图

Fig. 2 Comprehensive strata column of Yilan basin

外,含煤-油页岩段菱铁矿体积分数为 14%,而油页岩段没有菱铁矿出现。

2.3 元素地球化学特征

微量元素 Sr/Ba 值通常是区分淡水和咸水的标志:咸水沉积时 $Sr/Ba > 1$;淡水沉积时 $Sr/Ba < 1$ ^[19]。通过微量元素 Sr/Ba 分析,含煤-油页岩段和油页岩段的油页岩 Sr/Ba 值均小于 1,表明为淡水沉积。

通常,很多学者利用 Ni/Co 值进行水体的氧化还原电位分析^[19]。含煤-油页岩段油页岩 Ni/Co 值为 1.25~1.5,油页岩段 Ni/Co 值为 0.5~0.75;总的来说,两者的 Ni/Co 值中等,反映其弱氧化-还原

的沉积环境。

2.4 有机地球化学特征

采用干酪根显微有机组分分析(表 1)、干酪根的 H/C 和 O/C(原子)值及氢指数与 t_{max} 的关系(图 6)和岩石快速热解(表 2)3 种方法,从定性-半定量、定量到快速定量地进行研究区油页岩的有机质类型

的分析。研究区达连河组含煤-油页岩段有机质类型主要为 II₁ 型,油页岩段油页岩的有机质类型主要为 II₁-II₂ 型都显示为混合型(表 3),说明油页岩有机质母质来源既有低等水生生物,也有陆源高等植物。

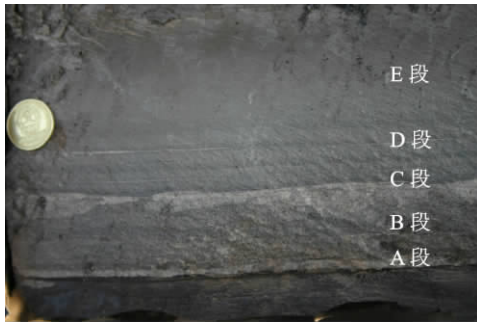


图 3 油页岩段完整 ABCDE 序列

Fig. 3 Whole ABCDE sequences in oil shale bearing section

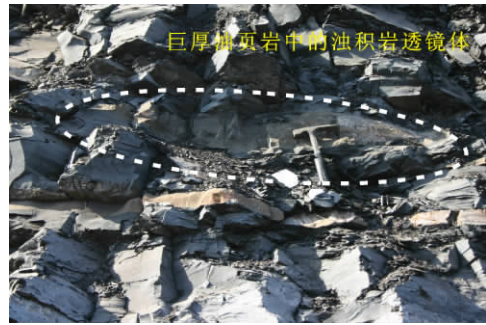


图 4 油页岩段巨厚油页岩中的油积岩透镜体

Fig. 4 Turbiditic lens in thick oil shale in oil shale bearing sections

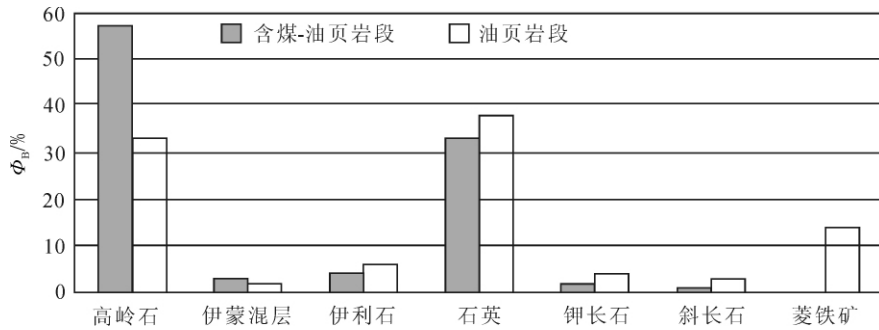


图 5 含煤-油页岩段与油页岩段油页岩的矿物成分特征

Fig. 5 Mineral characteristics of coal-oil shale bearing and oil shale bearing sections

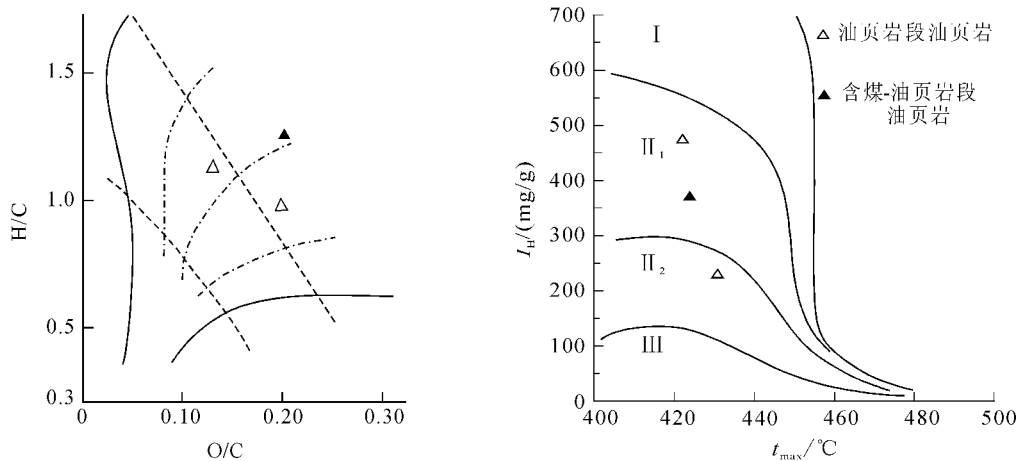


图 6 油页岩类型参数各种图版

Fig. 6 Distribution of types of organic matters of oil shale

表1 干酪根显微组分鉴定结果

Table 1 Content statistics of organic maceral of oil shale

采样地点	送样编号	描述	腐泥组		壳质组		镜质组	惰质组	类型 系数	有机质 类型
			腐泥碎屑体	孢粉体	腐殖无定形	无结构镜质体	丝质体			
煤层间油页岩	YYY-1	腐殖无定形均无荧光	2	—	90	5	3	40.25	II ₁	
油页岩段油页岩	YYY-3	腐殖无定形均无荧光	—	5	91	2	2	44.50	II ₁	
油页岩段油页岩	YYY-4	腐殖无定形均无荧光	—	6	88	3	3	41.75	II ₁	

注:第4-8列数值为体积分数(%);“—”代表数量极少。

表2 油页岩热解参数特征

Table 2 Organic geochemical parameters of oil shale

采样地点	送样编号	w(TOC)/ %	t _{max} / °C	w(S ₁)/ (mg/g)	w(S ₂)/ (mg/g)	w(S ₃)/ (mg/g)	w(S ₁ +S ₂)/ (mg/g)	S ₁ / (S ₁ +S ₂)	S ₂ /S ₃	I _H / (mg/g)	I _O / (mg/g)
煤层间油页岩	YYY-1	19.5	423	1.84	70.56	2.50	72.40	0.03	28.22	362	9.11
油页岩段油页岩	YYY-3	7.481	436	1.08	36.51	0.89	37.59	0.03	41.02	488	11.90
油页岩段油页岩	YYY-4	9.623	433	0.54	22.92	1.15	23.46	0.02	19.93	238	11.95

表3 油页岩成因类型综合对比

Table 3 Comprehensive comparison in oil shale origins

送样编号	采样地点	热解 分类	元素 分类	镜检 分类	综合成 因类型
YYY-1	含煤-油页岩段	II ₁	II ₁	II ₁	II ₁
YYY-3	油页岩段	II ₁	II ₁	II ₁	II ₁
YYY-4	油页岩段	II ₂	II ₂	II ₁	II ₂

3 形成环境讨论

3.1 油页岩形成的沉积相环境

通过以上野外多条剖面的观测,结合岩性及岩石矿物、古生物、地球化学特征分析,含煤-油页岩段油页岩主要为一套湖泊-沼泽沉积体系(图7),而油页岩段油页岩为半深湖-深湖环境成因(图8)。

3.2 油页岩成因

3.2.1 含煤-油页岩段油页岩成因

依兰盆地达连河组发育的初期,沉积环境以扇三角洲-浅湖沉积体系为特征。当浅水湖泊被淤浅后,大面积沼泽化,所形成的泥炭层与扇三角洲平原上的泥炭层连成一片,以致浅湖沉积之上直接形成煤层。当基准面上升时,靠近控盆断裂一侧水体较深,不利于煤的形成,但有利于油页岩的形成,而靠陆一侧仍为沼泽沉积。当基准面下降时,导致大面积沼泽化,油页岩层之上形成一套煤层。因此,在达连河组下部发育了油页岩与煤互层的一套湖泊-沼泽沉积环境。油页岩表现为厚度薄、含油率较高

(8%~12%)、有机质类型为II₁型等特征(图7)。当湖泛作用基准面上升后,原来沼泽发育的位置已经不利于高等植物的生长,演化为湖泊沉积环境,水生低等生物大量繁殖,为油页岩的形成提供了丰富的有机质来源。并且由于该时期水动力很弱,无法带入新的氧气,生物死亡后,水底的氧气很快就因氧化前期沉积的有机物而消耗完了,只有靠近空气界面处有氧气的存在。同时,自身又有很高的生产力,不断地堆积,因此,有机质得到了较好的保存。煤、油页岩段的Ni/Co值也表明其为弱氧化-还原的沉积环境。

断陷湖泊-沼泽沉积体系中,油页岩主要发育在每次湖侵的开始,这时水体较深,而煤往往发育在每次湖侵后的水体变浅的阶段中,即沼泽化时期(图9)。

3.2.2 油页岩段油页岩成因

油页岩段中油页岩之所以表现出有机质类型为II₁-II₂型,以及弱氧化-还原等特征,主要原因是该沉积时期频繁发育的重力流作用(图8、图9)。

在依兰盆地达连河组油页岩段沉积时期,多发性的重力流作用不断地把陆源碎屑带入深湖、半深湖中,导致了较高的陆源碎屑输入量,同时也把氧气带入到湖底,不利于有机质的保存,导致该油页岩段的有机质含量一般。通常,在断陷盆地发育的中后期,湖盆比较稳定,在靠近断陷盆地的陡岸,重力流是该时期的主要地质营力。因此,在多发性重力流作用发育的深湖,水体分层形成的缺氧环境将受到

岩心剖面	层理构造	原生构造及含有物	岩性描述	沉积微相	沉积亚相	沉积相
[岩心剖面示意图]	[层理构造]	[原生构造]	煤层	沼泽	扇三角洲平原—浅湖	扇三角洲—湖
			黑色煤层局部夹薄层油页岩	湖沼	湖沼	湖泊
			浅灰白色中薄层油页岩夹煤线、煤镜体	湖沼	湖沼	湖泊
			煤层	沼泽	扇三角洲平原	扇三角洲
			浅灰白色中薄层油页岩局部夹煤线	湖沼	浅湖	湖泊

煤层
 油页岩
 水平层理
 植物化石
 炭屑

图 7 依兰盆地达连河组含煤-油页岩段沉积相

Fig. 7 Sedimentary facies in coal-oilshale bearing sections of Dalianhe Formation in Yilan basin

岩心剖面	层理构造	原生构造及含有物	沉积微相	沉积亚相	沉积相
[岩心剖面示意图]	[层理构造]	[原生构造]	浊CDE段	半深湖—深湖	湖
			浊ACD段		
			浊CD段		
			浊CDE段		
			浊CDE段		

油页岩
 泥岩
 泥质粉砂岩
 细砂岩
 中砂岩
 水平层理
 渐变层理
 小型槽状交错层理
 炭屑
 变形层理
 砂质条带

图 8 依兰盆地达连河组油页岩段半深湖-深湖相和远积浊积岩沉积相

Fig. 8 Semi deep lacustrine facies and distal turbiditic facies in oil shale bearing sections of Dalianhe Formation in Yilan basin

严重破坏,有机质的保存程度远远低于那些没有或较少有浊流的湖盆。

因此,由于有陆源碎屑的注入,同时氧分的输入,导致了有机质类型呈 II₁-II₂ 型以及弱氧化-还原

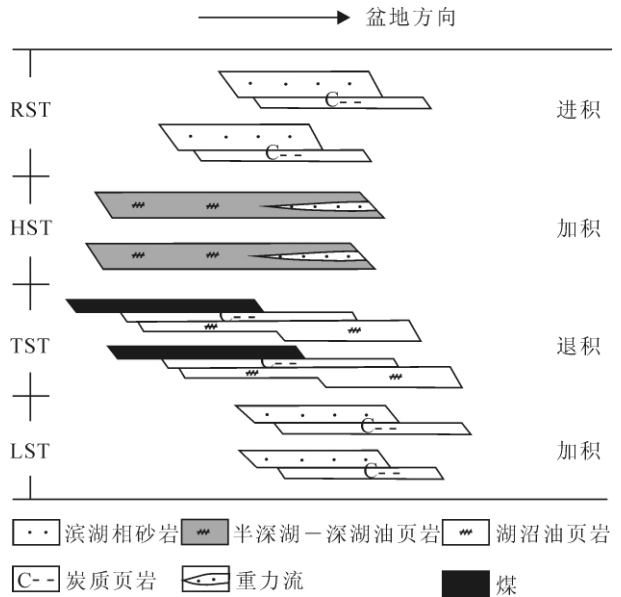


图 9 依兰盆地基准面旋回内的油页岩分布模式

Fig. 9 Distribution model of oil shale within base level cycle in fault lacustrine-swamp basin

特征。

4 结论

1) 依兰盆地含煤-油页岩段油页岩有机质类型主要为 II₁ 型,油页岩段油页岩的有机质类型主要为 II₁-II₂ 型,且都表现为弱氧化-还原特征,但是两者却具有不同的成因:依兰盆地底部含煤-油页岩段油页岩形成于湖泊-沼泽沉积体系,而油页岩段油页岩形成于半深湖-深湖体系。

2) 含煤-油页岩段油页岩形成于湖泛作用基准面上升时期,直接发育在原来沼泽发育的位置,由于该时期水动力很弱,无法带入新的氧气,又有大量的生物生长并且不断原地死亡堆积,形成了有机质很丰富的油页岩。

3) 油页岩段中频繁重力流作用的出现,把陆源碎屑带入深湖、半深湖中的时候,也把氧气带入到湖底,不利于有机质保存,导致该油页岩段有机质呈 II₁-II₂ 型以及弱氧化-还原特征。

参考文献 (References):

[1] 刘招君,柳蓉. 中国油页岩特征及开发利用前景分析[J]. 地学前缘, 2005, 12(3): 315-323.
Liu Zhao-jun, Liu Rong. Oil Shale Resource State and Evaluating System[J]. Earth Science Frontiers, 2005,

- 12(3):315-323.
- [2] 柳蓉,刘招君. 国内外油页岩资源现状及综合开发潜力分析[J]. 吉林大学学报:地球科学版,2006,36(6):892-898.
Liu Rong, Liu Zhao-jun. Oil Shale Resource Situation and Multi-Purpose Development Potential in China and Abroad[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition,2006,36(6):892-898.
- [3] 刘招君,孟庆涛,柳蓉. 中国陆相油页岩特征及成因类型[J]. 古地理学报,2009,11(1):105-114.
Liu Zhao-jun, Meng Qing-tao, Liu Rong. Characteristics and Genetic Types of Continental Oil Shales in China[J]. Journal of Palaeogeography,2009,11(1):105-114.
- [4] Dyni J R. Geology and Resources of Some World Oil-Shale Deposits[J]. Oil Shale, 2003, 20(3): 193-252.
- [5] Paul L R. Oil Shales of The World, Their Origin, Occurrence, and Exploitation[M]. Beijing:Pergamon Press,1990:1-20.
- [6] 刘招君,董清水,叶松青,等. 中国油页岩资源现状[J]. 吉林大学学报:地球科学版,2006,36(6):869-876.
Liu Zhao-jun, Dong Qing-shui, Ye Song-qing, et al. The Situation of Oil Shale Resources in China[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2006,36(6):869-876.
- [7] Talumaa R. Oil Shale Power Prevails in Estonia[J]. Oil Shale, 2005,22(2):93-94.
- [8] 牛继辉,陈殿义. 国外油页岩的地下转化开采方法[J]. 吉林大学学报:地球科学版,2006,36(6):1027-1030.
Niu Ji-hui, Chen Dian-yi. The Existing State About Underground Mining Methods of the Oil Shale[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2006,36(6):1027-1030.
- [9] 游君君,叶松青,刘招君,等. 油页岩的综合开发与利用[J]. 世界地质,2004,23(3):261-265.
You Jun-jun, Ye Song-qing, Liu Zhao-jun, et al. Comprehensive Development and Utilization of Oil Shale[J]. World Geology,2004,23(3):261-265.
- [10] Brendow K. Global Oil Shale Issues and Perspectives [J]. Oil Shale, 2003, 20(1):81-92.
- [11] Bradely W H, Eugster H P. Geochemistry and Palynology of the Trona Deposits and Associated Authigenic Minerals of the Green River Formation of Wyoming[J]. U S Geological Survey Professional Paper,1969,803:53-53.
- [12] Surdam R C, Wolfbauer. Depositional Environment of the Green River Formation of Wyoming: A Preliminary Report [J]. Geological Society of American Bulletin, 1973,84:1115-1120.
- [13] Desborough G A. A Biogenic-Chemical Stratified La-ke Model for the Origin of Oil Shale of the Green River Formation; An Alternative to the Playa-Lake Model[J]. Geological Society of American Bulletin, 1978,89:961-971.
- [14] Boyer B W. Green River Laminites: Does the Playa-Lake Model Really Invalidate the Stratified-Lake Model? [J]. Geology, 1982,10:321-324.
- [15] 张健,刘招君,杜江峰,等. 黑龙江依兰盆地古近系达连河组油页岩沉积特征[J]. 吉林大学学报:地球科学版,2006,36(6):980-985.
Zhang Jian, Liu Zhao-jun, Du Jiang-feng, et al. Sedimentary Characteristics of Oil Shale of the Dalianhe Formation of Paleogene in Yilan Basin of Heilongjiang Province[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition,2006,36(6):980-985.
- [16] 姜剑虹,王文化. 依兰矿区老第三纪聚煤环境与聚煤模式探讨[J]. 煤炭技术,2005,24(2):90-91.
Jiang Jian-hong, Wang Wen-hua. Discuss on Coal Deposot Environment and Metallogenic Mechanism of Paleocene in Yilan Diggings [J]. Coal Technology, 2005,24(2):90-91.
- [17] 舒正文. 依兰矿区老第三纪达连河组聚煤环境及聚煤规律[J]. 中国煤田地质,2006,18(3):20-22.
Shu Zheng-wen. Coal-Forming Environmental Analysis of Dalianhe Formation, Paleogene in Yilan Mining Area [J]. Coal Geology of China, 2006, 18(3):20-22.
- [18] 王世辉,陈春瑞,郑玉龙,等. 黑龙江省达连河油页岩地球化学特征及成因探讨[J]. 吉林大学学报:地球科学版,2006,36(6):933-937.
Wang Shi-hui, Chen Chun-rui, Zheng Yu-long, et al. A Study on Geochemical Characteristics and Genesis of Dalianhe Oil Shales in Heilongjiang Province[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2006,36(6):933-937.
- [19] 刘春莲,秦红,车评,等. 广东三水盆地始新统砾心组生油岩元素地球化学特征及沉积环境[J]. 古地理学报,2005,7(1):125-136.
Liu Chun-lian, Qin Hong, Che Ping, et al. Elemental Geochemistry and Sedimentary Environments of Soure Rocks of the Buxin Formation of Eocene in Sanshui Basin, Guangdong Province [J]. Journal of Palaeogeography, 2005, 7(1):125-136.