

冀北—辽西早白垩世沉积有机质 特征与古气候环境演变

李洪涛^{1,4)}, 宋之光¹⁾, 邹艳荣¹⁾, 王成善²⁾, 季强³⁾

1) 中国科学院广州地球化学研究所有机地球化学国家重点实验室, 广州, 510640

2) 中国地质大学青藏高原地质研究中心, 北京, 100083; 3) 中国地质科学院,
北京, 100037; 4) 中国科学院研究生院, 北京, 100049

内容摘要:本文对冀北—辽西地区早白垩世沉积盆地富有机质沉积岩进行了初步有机地球化学分析研究。结果显示,冀北—辽西沉积盆地有机质特征在时间和空间上存在很大差异,代表白垩系早期沉积的滦平盆地大北沟组有机质丰度低,这不仅显示其所代表的沉积相带不利于有机质的聚集,也反映了当时生物不够繁盛;大店子组时期沉积相带发生了变化,有机质类型随着发生了变化,丰度有所增高,但总体上显示环境条件不利于生物的发育和繁盛。到了桥头组和义县组沉积岩有机质丰度大幅升高,表明生物界非常繁盛,古气候环境有利于有机质的大量生成和堆积,总体上反映了温湿的气候条件;但同时也存在较为频繁或交替性寒冷气候波动,具体的古气候环境状态尚需进一步深入研究。

关键词:冀北—辽西早白垩系;沉积有机质;饱和烃组成分布;古气候环境

冀北—辽西地区是晚侏罗—早白垩世是地球历史上生物,特别是陆生动植物发展演化的重要区域,该地区湖相沉积岩中广泛分布的燕辽生物群和热河生物群动植物化石是这一结论性的认识的重要而直接的证据,并引起了国际学术界的高度关注。显然,这一区域自西向东发育的一组呈北东向展布、在构造演化和时间序列上具有递次演进关系的陆相沉积盆地为古生物的发育演化提供了重要的栖息场所。已有的资料和研究表明,白垩纪是地质历史上一个典型的温室气候时期,因而研究当时这一区域的古气候环境特征对于认识古生物群落的发育演化、以及这一重要区域乃至整个地球表生系统气候环境特征都有重要的科学意义。

本文拟通过对冀北—辽西盆地沉积盆地中陆相沉积岩中有机质的丰度、组成及物源特征,烃类化合物特别是生物标志物的组成分布特征,研究沉积层序形成过程中控制有机质组成特征的沉积环境(包括物源组成的变化等),进而分析早白垩纪时期制约沉积环境的古气候环境特征及其在横向上的演变。

1 样品与实验

图1显示了研究区域晚侏罗—早白垩世沉积盆地分布状况,本文所分析样品都是在相关沉积盆地野外露头采集的,岩性呈深灰色至黑色的泥岩、页岩样品,从岩性分析具有半深湖—深湖相沉积环境,样品相关信息列于表1。

沉积岩样品经研磨至200目粉末状后,分别进行有机碳分析和可溶有机质萃取。

有机碳含量用法国 Vinci Technologies 公司生产的 Rock-Eval 6 Standard 型仪器,使用热裂解分析方法测定。具体的计算方法是根据 570 °C 以下所释放的 CO 和 400 °C 以下所释放的 CO₂ 中碳的总量作为样品中有机碳的含量。

可溶有机质萃取用二氯甲烷/甲醇(9:1)混合溶剂在索氏抽提器抽提 72h,总抽提物先用正己烷沉淀,脱除沥青质,再用氧化铝/硅胶柱层析进行族组分离,分别用正己烷,正己烷/二氯甲烷(6:4)混合溶剂和二氯甲烷/甲醇(5:5)混合溶剂+甲醇淋洗填充柱,依次得到饱和烃、芳烃和非烃组分,然

注:本文为国家重点基础研究发展计划“973”项目(编号 2006CB701404)资助的成果。

收稿日期:2007-08-28;改回日期:2007-11-02;责任编辑:郝梓国。

作者简介:李洪涛,男,1982年生,中国科学院广州地球化学研究所有机地球化学专业硕士研究生。通讯作者:宋之光。电话:020-85290861;Email:zsong@gig.ac.cn。

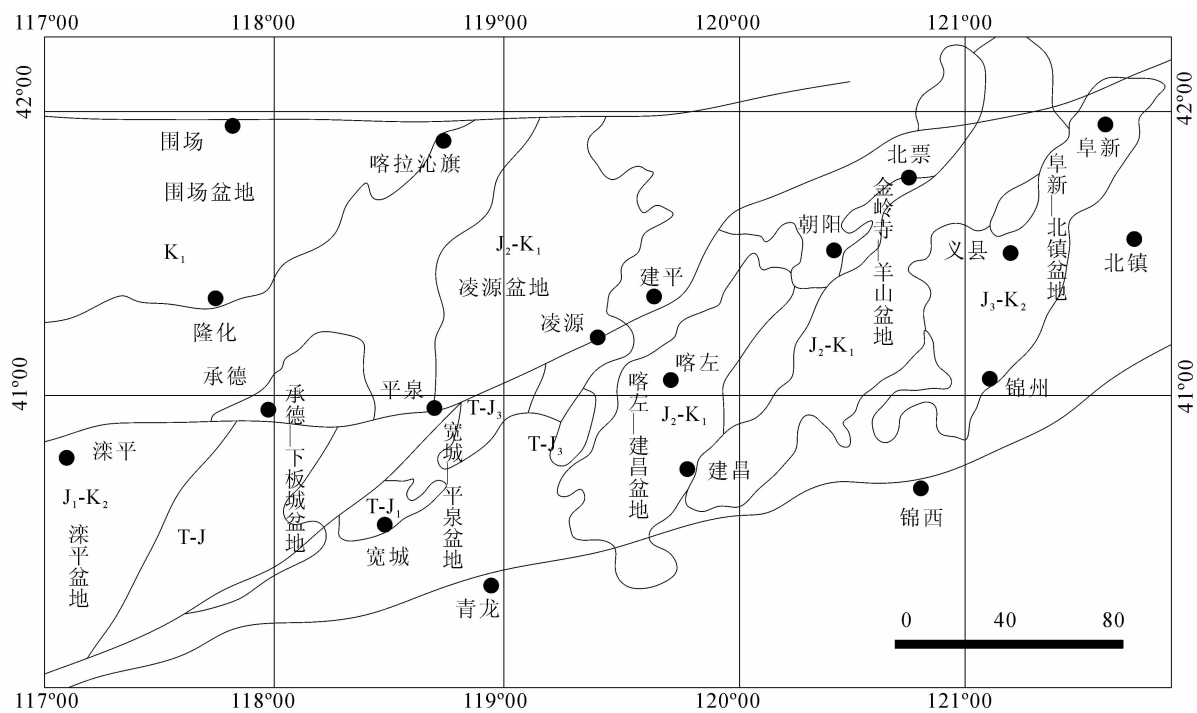


图 1 冀北—辽西晚侏罗—早白垩世沉积盆地分布

Fig. 1 The distribution of sedimentary basins in the region of Heibei and Liaoning Provinces during the early cretaceous time

表 1 样品信息表

Table 1 Information of samples

样品分析序号	位置	岩性描述	时代	TOC	Tmax (℃)
2	阜新义县盆地九佛堂组	黑色页岩	K ₁₂	5.15	433
16	金岭寺-羊山盆地朝阳四合屯组	灰色页岩	K ₁	2.56	427
15	金岭寺-羊山盆地朝阳四合屯组	灰色页岩	K ₁	1.35	427
14	金岭寺-羊山盆地朝阳四合屯组	褐色页岩	K ₁	3.53	431
13	金岭寺-羊山盆地朝阳四合屯组	黑色页岩	K ₁	4.25	424
12	金岭寺-羊山盆地朝阳四合屯组	黑色页岩	K ₁	5.92	430
11	金岭寺-羊山盆地朝阳四合屯组	黑色页岩	K ₁	2.57	425
5	四岔口盆地芥菜沟义县组	油页岩(1 [#])	K ₁	7.07	434
7	四岔口盆地芥菜沟义县组	褐色页岩(紧贴 2 [#] 样品层之上)(3 [#])	K ₁	4.99	432
6	四岔口盆地芥菜沟义县组	1 [#] 油页岩下伏底层(约 10m)(2 [#])	K ₁	5.80	430
17	滦平盆地地下营村大店子组	K ₁ d ₁ 28 [#] 油页岩	K ₁	0.43	439
4	滦平盆地地下营村大店子组	块状黑色泥岩(第 23 层)	K ₁	1.65	440
3	滦平盆地地下营村大店子组	K ₁ d ₁ 20 层底	K ₁	0.43	437
10	滦平盆地大北沟组	暗色沉积岩(第 10 层,近底约 50cm)	K ₁ 1	0.58	435
9	滦平盆地大北沟组	2 [#] ,离 1 [#] 有 15~18m	K ₁	0.98	438
8	滦平盆地大北沟组	1 [#] ,第六层(离底约 1m)	K ₁	0.90	440

后进行饱和烃及芳烃的气相色谱和色谱—质谱分析。

饱和烃、芳烃气相色谱(GC)分析:气相色谱仪为 Finnigan 公司生产的 Thermo Finnigan Trace Ultra 型色谱仪,配以氢火焰离子监测器(FID),使用 JW-DB-5 型 30 m×0.25 mm×0.25 μm 硅熔毛细柱,进样口和检测器的温度分别为 290℃ 和

300℃。采用无分流模式进样,氮气为载气。升温程序:初温 60℃ (5 min),升温速率 3℃ /min,终温 290℃ (20 min)。

色谱-质谱 (GC-MS) 分析:仪器为 HP6890Platform II 质谱仪,离子源为电子轰击源 (70eV),使用 JW-DB-5 型 30 m×0.25 mm×0.25 μm 硅熔毛细柱。样品采用无分流进样法,汽化室

温度为 290℃,色谱柱箱初始温度为 80℃,5 min 后以升温速率 3℃/min 升温到 290℃,并保持 10min;氮气为载气,质谱扫描范围 50~600 Da。

表 2 各地层组相对时间顺序

Table 2 the relative timing of the sediments formation

栾平盆地	四岔口盆地、金岭寺—羊山盆地	阜新义县盆地	时间界限(Ma)	
		九佛堂组		20
				?
大店子组	桥头组、义县组			128
大北沟组				136

2 结果讨论

2.1 有机质丰度

各盆地野外露头样品有机碳含量分析结果列于表 1。表 1 显示,这些样品有机碳的含量具有明显的地域性分布特征。位于西部栾平盆地早白垩世沉积岩有机碳含量比较低,在 0.43~1.65 之间,大多数样品低于 1.0,仅个别样品达到 1.65%。而位于东部的四岔口盆地义县组、金岭寺—羊山盆地四合屯组、阜新义县盆地九佛堂组样品有机碳含量远高于栾平盆地,分别在 4.09%~7.07%、1.35%~5.927%和 5.15%。显然,从有机碳含量上看,具有东部、北部高、西部低的特点。

可溶有机质族组成也是反映有机质成熟度的一个指标。可溶有机质族组成丰度顺序在栾平盆沉积岩样品中表现为沥青质>饱和烃>>非烃≡芳烃,饱和烃含量远大于芳烃和非烃浓度之和,呈现成熟有机质的特征。这与这些样品热裂解有机质最大温度(t_{max})在 435~440℃之间相对应,显示该盆地早白垩世沉积有机质经历了较为强烈的成熟演化。这也从侧面证明这些样品所在地层组,栾平盆地大北沟组及大店子组在时间顺序上要早于义县组。

而东部的四岔口盆地义县组、金岭寺—羊山盆地四合屯组、阜新义县盆地九佛堂组样品可溶有机质族组成丰度顺序为沥青质>>非烃>饱和烃>芳烃,显示了低成熟有机质的特点,这也与有机质具有较低的最高裂解温度(t_{max})相一致。

2.2 有机质饱和烃组成分布

图 2 是早白垩晚期九佛堂组暗色泥岩饱和烃色谱图。该图显示泥岩有机质饱和烃以低碳数前锋群正构烷烃为优势、主峰碳为 nC_{15} ,在 nC_{28} — nC_{34} 之间

有丰度很高的甾萜类生物标记物,Pr/Ph 比小于 1。这种分布模式反映了沉积有机质在形成的早期受到了较为强烈的微生物改造作用,以致原始母质、包括陆源(植物)有机质被强烈分解,仅大量生物标记物能存留下来。

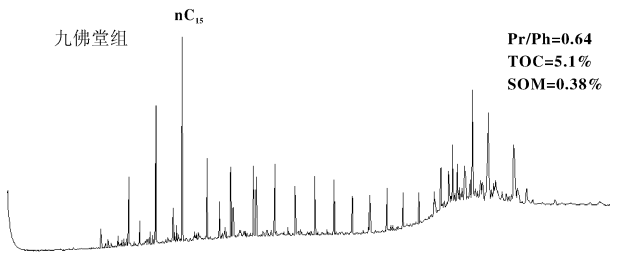


图 2 早白垩晚期九佛堂组(K₂)暗色泥岩饱和烃色谱图
Fig. 2 Chromatogram of saturates from the sediments of Jiufotang Formation

图 3 是金岭寺—羊山盆地四合屯组剖面典型样品可溶有机质饱和烃色谱图,该图显示该剖面上饱和烃的组成分布明显分成交替出现的两种类型,一类是以 4 层、13 层和 19 层为代表的双峰群分布模式,碳数在 13~33 之间,后峰群优势并以 nC_{27} 为主峰碳,后峰群奇碳优势明显;另一类是整体上为单峰分布模式,碳数在 13~35 之间,以 nC_{23} 为主峰,奇碳优势非常显著。正构烷烃构成分布的这种交替变化主要显示了有机母质类型或有机质来源方面发生显著交替性的变化。在以 nC_{27} 为主峰碳时,有机质的输入应以陆源有机质为主,表明陆地环境比较适宜于陆生植物的生长繁盛。而以 nC_{23} 为主峰碳数时,沉积有机质的输入主要是水生浮游植物(Ficken et al., 2000),而且种类比较单一,同时陆生植物来源有机质贡献很小,可能暗示陆地环境不适合植物的发育生长,仅在 16 号样品中 nC_{27} — nC_{29} 丰度大幅增加;这种构成分布可能指示了环境条件较为局限,仅适合于个别种属生长发育的水体环境。根据现代泥炭环境研究(Nott et al., 2000),我们认为这是在水体温度偏低情况下的产物。因此,在四合屯古生物化石剖面沉积形成过程中,可能频繁的出现交替性的低温气候条件。水体温度低,导致个别种属水生植物的繁盛,同时过低的气温也限制了陆生植物生长,造成陆源有机质输入的贫乏。

四岔口盆地桥头组和义县组相对应,但有机质饱和烃分布组成却有较大差别,如桥头组油页岩饱和烃色谱图(图 4)所示。桥头组样品有机质饱和烃

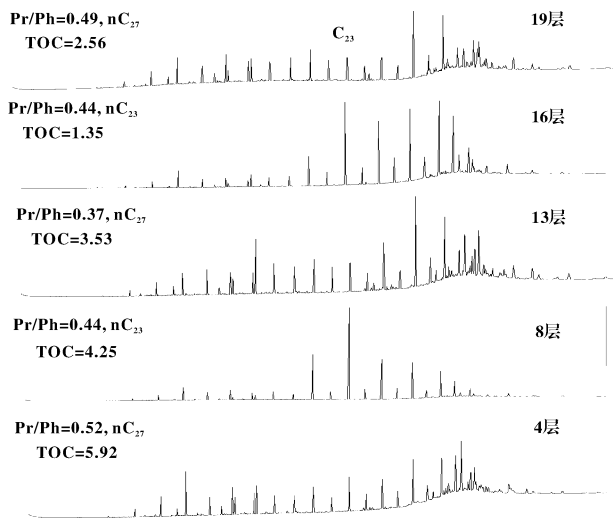


图 3 金岭寺-羊山盆地四合屯义县组典型样品可溶有机质饱和烃色谱图

Fig. 3 Chromatograms of Saturates from the sediments of Yixian Formation in the Jinlingsi—Yangshan basin

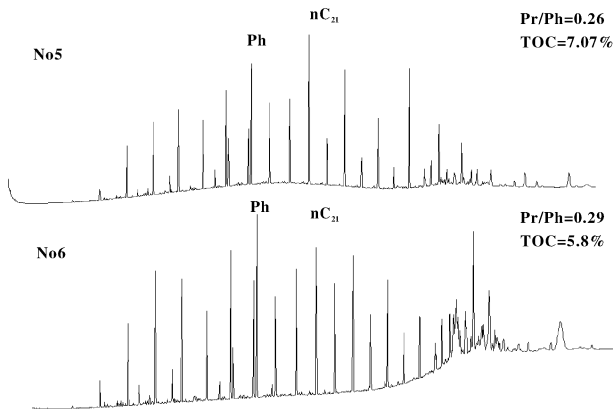


图 4 桥头组富有机质泥岩有机质饱和烃色谱图

Fig. 4 Chromatograms of saturates from the sediments of Qiaotou Formation

以低-中等长度碳数的正构烷烃为主,主峰碳数为 nC_{17} 和 nC_{21} ,饱和烃的这种分布模式主要指示了低等水生菌藻类以及浮游生物来源的有机质母质;而 nC_{28} 以后有甾萜类生物标记化合物有一定丰度。尽管尚未对生物标记物作进一步的鉴定,但根据它们在色谱图上的分布来看,这些标记化合物的组成和分布与东部盆地义县组比较一致,但与九佛堂组的不大相同,说明当时在冀北—辽西一带在义县组沉积时期陆源植被类型可能比较一致,但到了九佛堂组则发生了一定的变化。

滦平盆地大北沟组和大店子组在沉积时间序列上要早于上述几个组,其有机质饱和烃的分布也与

上述地层有很大的不同。图 5 分别是大店子组和大北沟组典型样品有机质饱和烃色谱图。从图上可以看出,大店子组和大北沟组饱和烃主要由正构烷烃组成,异构烷烃和生物标记物丰度很低甚至缺失,如大店子组缺失姥姣烷和植烷、以及生物标记物,大北沟组姥姣烷和植烷丰度低、生物标记物基本缺失;正构烷烃呈偶碳优势,表明成熟度比较高。大店子组以中、低碳数正构烷烃为主, nC_{17} (及 nC_{21}) 为主峰碳,显示有机质以水生来源为主的特点。大北沟组正构烷烃呈双峰群分布、以高碳数后峰群正构烷烃为优势,主峰碳为 nC_{27} ,显示有机质以陆源有机质输入为主、水生低等菌藻类为辅的特点。Pr/Ph 比是所有分析样品中唯一大于 1 的样品,它指示了相对氧化的沉积环境。

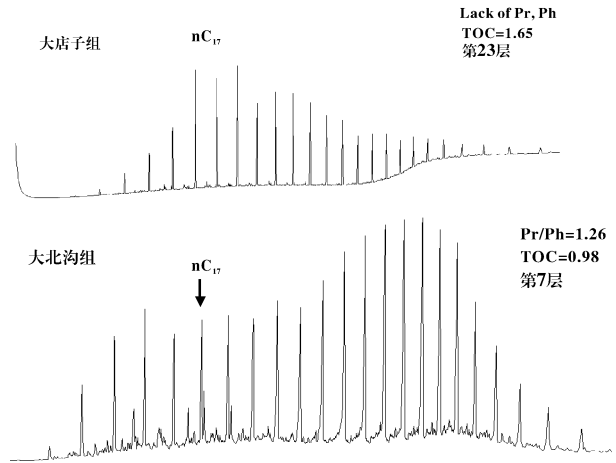


图 5 大店子组和大北沟组典型样品有机质饱和烃色谱图

Fig. 5 Chromatograms of saturates from the sediments of Dadianzi and Dabeigou Formation

3 结论

上述沉积有机质资料分析显示,冀北—辽西沉积盆地在早白垩纪古气候环境存在时间和空间上的差异性,滦平盆地大北沟组沉积时有机质比较贫乏,这不仅显示其所代表的沉积相带不利于有机质的聚集,也反映了当时生物不够繁盛;到了大店子组时期沉积相带发生了变化,有机质类型随着发生了变化、丰度也有所增高;但总体上显示环境条件不利于生物的发育和繁衍。到了桥头组和义县组沉积时期,古气候环境发生了较大变化,生物界非常繁盛,导致有机质大量堆积,总体上反映了温湿的气候条件;但同时,也存在频繁的或交替性的寒冷气候波动,具体的古气候环境状态尚需进一步深入研究。

参 考 文 献

Barber, K E, Chambers F M, Maddy D, Stoneman R, Brew J S. 1994. A sensitive high-resolution record of late Holocene climatic change from a raised bog in northern England. The Holocene 4, 198~205.

Ficken K J, B Li a, l D L Swain b, G Eglinton. 2000. An n-alkane proxy for the sedimentary input of submerged/floating freshwater aquatic macrophytes. Organic Geochemistry, 31: 745~749.

Characteristics of Sedimentary Organic Matter and Paleoclimate and Environmental Evolution During Early Cretaceous Time in Northern Part of Hebei and Western of Liaoning Provinces

LI Hongtao^{1,4)}, SONG Zhiguang¹⁾, ZOU Yanrong¹⁾, WANG Chengshan²⁾, JI Qiang³⁾

1) State Key Laboratory of Organic Geochemistry, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, Guangdong, 510640; 2) Geological Centre of the Qinghai-Tibetan Plateau, China University of Geosciences (Beijing), 100083; 3) Chinese Academy of Geosciences, Beijing, 100037; 4) Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100049

Abstract

A primary study on the organic matter of the sediments from sedimentary basins located in northern Hebei and western Liaoning Provinces shows significant differences both spatially and temporally in the abundance and composition of organic matter over these sediment basins. The Dabeigou Formation which represents the earliest sediments of early Cretaceous time in the Luanping Basin has a lowest organic abundance, indicating that, although the Dadianzi Formation which developed a little later shows the change in the sedimentary facies and the type of organic matter with increase in the abundance of organic matter, the paleoclimate and environment were not favorable to the development and accumulation of organic matter. By the time of the sedimentation of the Qiaotou and Yixian Formations, the abundance of organic matter was in great abundance, suggesting that the organisms were thriving and that a mild and warmer paleoclimate and environments were favorable to the organic matter Formation and accumulation. However, cold climate occurred frequently and the true reason for this need further investigation.

Key words: Early Cretaceous in Hebei and Liaoning provinces; sedimentary organic matter; composition and distribution saturated hydrocarbons; paleoclimate and environments