

## 焉耆盆地侏罗纪煤系源岩显微 组分组合与生油潜力

陈祥<sup>1</sup>, 张育民<sup>2</sup>, 程克明<sup>3</sup>, 陈学宏<sup>2</sup>

1. 中国石油大学资源与信息学院, 北京 102200

2. 河南油田分公司, 河南南阳 473132

3. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083

**摘要:** 焉耆盆地为我国西部含煤、含油气盆地, 侏罗系含煤地层是最重要的潜在源岩。对侏罗纪煤系中的暗色泥岩、碳质泥岩和煤层分别进行了有机岩石学、Rock-Eval 热解分析和核磁共振分析。泥岩、碳质泥岩和煤层具有不同的有机岩石学和有机地球化学特征, 其中煤层具有3种有机显微组分组合类型, 不同显微组分组合类型的煤层具有不同的生油、生气潜力或倾油、倾气性。基质镜质体、角质体、孢子体等显微组分是煤中的主要生烃组分。侏罗系泥岩、碳质泥岩和煤层具有不同的生物标志物分布特征, 生物标志物组合分析表明焉耆盆地已发现原油是泥岩、碳质泥岩和煤层生成原油的混合产物。含煤地层的地球化学生烃潜力分析和已发现原油的油源对比均表明, 含煤地层不仅是重要的气源岩, 而且可成为有效的油源岩。

**关键词:** 焉耆盆地; 煤系; 显微组分; 煤成油; 油源对比。

中图分类号: P618

文章编号: 1000-2383(2005)03-0337-06

收稿日期: 2005-01-17

## Maceral Composition and Oil Potential of the Jurassic Coal-Bearing Series in the Yanqi Basin

CHEN Xiang<sup>1</sup>, ZHANG Yu-min<sup>2</sup>, CHENG Ke-ming<sup>3</sup>, CHEN Xue-hong<sup>2</sup>

1. Faculty of Natural Resource and Information Technology, China University of Petroleum, Beijing 102200, China

2. Henan Oil Corporation, Nanyang 473132, China

3. Institute of Petroleum Exploration and Development, Beijing 100083, China

**Abstract:** The Yanqi basin is a coal-bearing petroleum basin in northwest China. The most important potential source rock interval in this basin is the Jurassic coal-bearing series. Organic petrological analysis, Eval-Rock pyrolysis and <sup>13</sup>C NMR analysis have been carried out on shale, carbonaceous shale and coal samples. Shales, carbonaceous shales and coals from the Jurassic coal-bearing series have different organic petrological and organic geochemical characteristics. There are three coal types with different maceral associations, each type having different oil/gas potential. Desmocollinite, cutinite and sporinite are the major oil-generating macerals in the coals. The Jurassic shales, carbonaceous shales and coals have different biomarker compositions. Detailed analysis of biomarker association and oil-source rock correlation suggest that the oil found in this basin is a mixture of oil generated from Jurassic shales, carbonaceous shales and coals. This study confirms that coal-bearing series are not only important gas source rocks, but also can become effective oil source rocks.

**Key words:** Yanqi basin; coal-bearing series; maceral; coal-generated oil; oil-source rock correlation.

传统的油气生成理论强调煤的生气作用(Tissot and Welte, 1984)。20世纪90年代以来, 煤的生油能力得到广泛关注并成为油气地球化学重要的前沿研究领域(郝芳和陈建渝, 1990; 傅家谟等, 1992,

基金项目: 国家自然科学基金项目(No. 40238059)。

作者简介: 陈祥(1962-), 男, 教授级高级工程师, 博士研究生, 1984年毕业于华东石油学院, 主要从事石油地质综合研究工作。

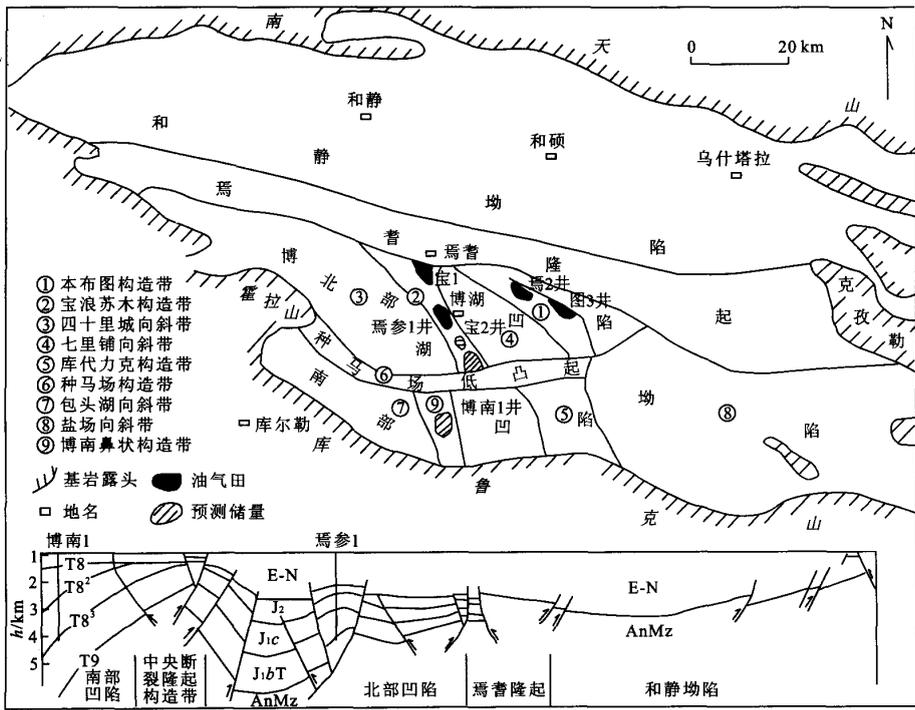


图1 焉耆盆地构造单元划分  
Fig. 1 Structural units of the Yanqi basin

秦勇等, 2000). 本文将通过有机岩石学分析、Rock-Eval 分析及核磁共振分析, 研究焉耆盆地侏罗系的地球化学特征和生烃潜力. 焉耆盆地处于新疆维吾尔自治区巴音郭楞蒙古自治州境内, 处于南天山褶皱带上, 西起霍拉山, 东至克孜勒山和铜矿山, 北至南天山, 南抵库鲁克山. 盆地东西长 160 km, 南北宽 60~90 km, 面积 13 000 km<sup>2</sup> (图 1), 为一长轴呈北西西向延伸的菱形盆地. 盆地基底由前中生代地层组成, 盖层由新生界第四系、第三系和中生界侏罗系、三叠系中—上统 4 套地层组成, 盖层最大厚度达 6 500 m. 目前该盆地已发现宝北、宝中、本布图、本东等油田, 主要含油层系为侏罗系西山窑组、三工河组及八道湾组(陈祥等, 2001; 高先志等, 2003).

### 1 焉耆盆地中、下侏罗统源岩分布

焉耆盆地第三系以上地层不具备生油条件, 三叠系亦属于非一差生油岩, 侏罗纪煤系是本区最重要的烃源岩. 侏罗系自下而上依次为八道湾组、三工河组和西山窑组, 以河流、沼泽、三角洲和滨浅湖相为主, 构成一个完整的湖进、湖退系列. 上、下部以河流、

沼泽相为主, 煤及碳质泥岩比较发育, 中部三工河组以浅湖相沉积为主, 泥岩比较发育(林社卿等, 2003).

地震资料解释表明, 盆地北部的和静坳陷和焉耆隆起缺少中生界分布, 侏罗系仅在博湖坳陷保存比较完整, 因此, 烃源岩条件仅限于博湖坳陷. 博湖坳陷侏罗系暗色泥岩厚度一般 100~200 m, 最厚达 700~900 m; 碳质泥岩一般 100~200 m, 最厚达 250 m; 煤岩一般 30~40 m, 最厚达 80 m. 由南向北、由中部向东西两侧逐渐减薄, 在博湖坳陷北部凹陷四十里城、七里铺次洼及南部凹陷沉积较厚, 分布面积约 3 000 km<sup>2</sup>.

### 2 煤系烃源岩有机显微组成

有机显微组分组成是决定煤层生烃潜能和产物组成的最重要因素之一. 为了研究焉耆盆地侏罗系煤层的生烃潜力, 笔者对煤样和泥岩样品进行了有机显微组分分析(图 2). 煤样的镜质组平均含量为 72.0%, 惰性组的平均含量为 19.4%, 壳质组和腐泥组的平均含量为 8.6%. 泥岩的镜质组平均含量为 59.5%, 惰性组平均含量为 14.5%, 壳质组和腐

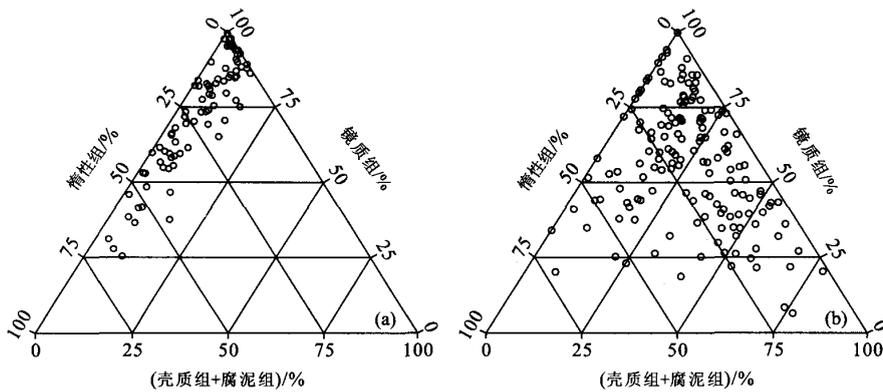


图 2 焉耆盆地侏罗纪煤(a)和泥岩(b)显微组成三角图

Fig. 2 Maceral composition for Jurassic coals (a) and mudstones (b) from the Yanqi basin

泥组的平均含量为 26.0%。与煤样相比,泥岩的壳质组和腐泥组含量变化大且明显高于煤层。煤层和泥岩有机显微组分组成的变化反映了沉积一成岩条件的多样性。

焉耆盆地侏罗纪煤层的平均镜质组含量(72%)与三塘湖盆地侏罗纪煤层(平均镜质组含量为 69.2%)及吐哈盆地侏罗纪煤层(平均镜质组含量为 74%)(程克明,1994;张鹏飞等,1997)相近,但壳质组和腐泥组平均含量(8.6%)低于三塘湖盆地煤层(15.3%)和吐哈盆地煤层(10.7%)壳质组和腐泥组平均含量。

与中国西北地区其他盆地的侏罗纪煤层相比,焉耆盆地侏罗纪煤层的显微组成总体上表现出富镜质组和惰性质组、贫壳质组和腐泥组的特点;而泥岩的显微组成表现出贫惰性质组、富镜质组及壳质组和腐泥组的特点,但不同的地区、时代和岩性其显微组成也有明显的不同,北部凹陷与南部凹陷相比,碳质泥岩和泥岩的壳质组+腐泥组的含量明显下降,而镜质组和惰性质组含量有所增加。

### 3 焉耆盆地煤系烃源岩主要生烃组分及生油潜力

#### 3.1 侏罗纪煤系烃源岩主要生烃组分及其特征

煤层和泥岩均含有多种有机显微组分,不同有机显微组分的化学组成、生烃潜力特别是生油能力存在巨大差异。富氢显微组分是成烃的物质基础,且不同有机显微组分在热演化行为和成熟阶段明显不同(程克明,1994;朱芳冰,2002);因此,研究富氢显

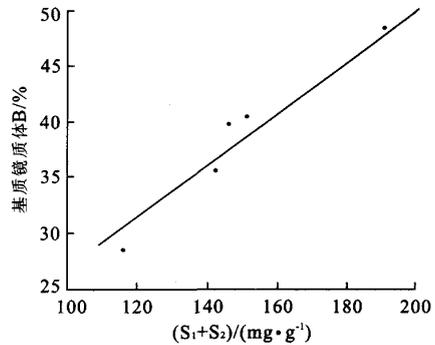


图 3 焉耆盆地侏罗系煤层生烃潜力与镜质体 B 含量的关系

Fig. 3 Variation of hydrocarbon potential ( $S_1 + S_2$ ) with the content of vitrinite B for coals from the Yanqi basin

显微组分的类型及其含量对于正确评价煤系源岩具有重要作用。通过详细的有机岩石学分析,在焉耆盆地侏罗纪煤层中识别出下列 4 种主要生烃组分。

**3.1.1 基质镜质体** 镜质组是大多数腐植煤的主要显微组分,不同的镜质组分具有不同的化学结构和生烃能力(Hao and Chen, 1992);因此,煤的生烃潜力不仅取决于壳质组和腐泥组的数量,而且取决于镜质组分的类型和结构,特别是富氢镜质组的含量。为了研究焉耆盆地侏罗系煤层的生烃潜力,笔者对镜质组进行了进一步划分。统计分析表明,镜质组是焉耆盆地侏罗纪煤系的主要显微组分,而基质镜质体 B 在镜质组中占主导地位,其含量占整个镜质组的 21.2%~86.7%,平均为 48.2%,尤其是在八道湾组大量富集。如图 3 所示,煤层中基质镜质体 B 的含量与总生烃潜能( $S_1 + S_2$ )成正相关关系,表明

表 1 焉耆盆地侏罗纪煤系烃源岩倾气倾油性评价

Table 1 Assessment of the hydrocarbon potential for coals with different maceral composition associations

显微组分组合	显微组分含量/%			富氢程度		倾油或倾气性评价
	镜质组	惰性组	壳质组+腐泥组	H/C 原子比	氢指数/( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )	
镜质组—壳质组+腐泥组组合型	>80	<5	>10	>0.9	>250	倾油
过渡组合型	60~80	5~35	5~15	0.8~0.9	200~250	过渡
镜质组—惰性组组合型	<60	>35	<5	<0.8	<200	倾气

基质镜质体 B 相对富氢,具有较强的生烃能力,其重要的生烃特别是生油能力,在焉耆盆地侏罗系油气生成中占有重要的地位。

一般情况下,镜质组化学结构主要是短脂肪链与含氧官能团联结的芳香网络结构组成,不是成油的主要母质,但焉耆盆地侏罗纪煤中基质镜质体 B 荧光性较强,是该区源岩的主要成烃组分。原因可能有 3 种:一是由于基质镜质体在形成过程的生物化学阶段细菌等微生物的强烈改造作用,其母质得以“改良”,形成了富氢镜质体(Hao and Chen, 1992),使其结构中具有氢化芳香结构,相对富含烃基团,有生成液态烃的能力;二是基质镜质体胶结了大量的壳屑体以及超微类脂体,正是这些物质发荧光;三是在煤的沥青化作用过程中,吸附了大量的烃类物质,使其荧光性增强。

**3.1.2 角质体** 焉耆盆地侏罗纪煤中角质体富集成层,有的样品角质体含量达到 20%~30%,薄壁角质体含量很高,占整个角质体含量的 64%~95%。高含量的薄壁角质体是研究区西山窑组煤和泥岩荧光组分组成的特征之一,是研究区侏罗纪烃源岩的主要生烃组分。

**3.1.3 孢子体** 孢子体的化学组成富含脂族和芳香结构,具有较高的氢含量,是一种良好的生烃母质,主要形成原油、凝析油。通过对煤和泥岩的定量统计结果表明,研究区煤和泥岩中常见的壳质组分以小孢子体为主,一般小于 100  $\mu\text{m}$ ,纵切面多呈扁环状、短细的线状或蠕虫状,或似三角形,常常沿层理顺层排列,有时也密集成堆。同时在侏罗纪煤中也发现了外壁瘤饰明显和瘤饰不明显的大孢子体,具较强的荧光和生烃能力。

**3.1.4 矿物沥青基质** 矿物沥青基质不属于显微组分概念的范畴,它是有机质与无机矿物的复合体,是湖相泥岩及煤系泥岩中有机质的主要赋存形式;其在荧光显微镜下荧光性很强,并且在低成熟时表现出明显的变化,有较强的生烃潜力。矿物沥青基质在该区侏罗纪煤和泥岩中均有,尤以八道湾组的泥

岩中较为富集,是研究区侏罗系特别是八道湾组碳质泥岩主要生烃组分之一。

焉耆盆地侏罗纪煤中树脂体、木栓质体、沥青质体含量均较低。泥岩中的藻类稍富集,但降解程度较高,相当一部分和无机矿物一起形成了藻质矿物沥青基质,是研究区的生烃组分之一。

总之,焉耆盆地的主要生烃组分为基质镜质体 B、角质体、小孢子体和矿物沥青基质。不同的时代和不同的地区,其主要生烃组合也不尽一致,总体而言,西山窑组煤组分的生烃潜力按角质体—基质镜质体 B—矿物沥青基质—小孢子体的顺序递减,泥岩按角质体—藻类体—矿物沥青基质—小孢子体—荧光质体的顺序递减;八道湾组煤组分的生烃潜力按基质镜质体 B—角质体—矿物沥青基质—小孢子体的顺序递减,泥岩按角质体—矿物沥青基质—藻类体—小孢子体—荧光质体顺序递减。

### 3.2 焉耆盆地侏罗纪煤系的生油潜力

煤系的生油潜力是油气地球化学的重要前沿研究领域之一。煤的富氢程度是决定其生油潜力的最重要因素。基于大量样品的统计分析结果,笔者选择煤的显微组分组成和富氢程度共同评价煤的生烃潜力以及煤的倾气(gas-prone)或倾油(oil-prone)性。

焉耆盆地煤系有机质主要有 3 种显微组分组合形式,即镜质组—壳质组+腐泥组组合型、镜质组—惰性组组合型和过渡组合型(表 1)。不同的有机显微组分组合具有不同的氢碳原子比和氢指数,因此具有不同的生油潜力和不同的倾油或倾气性(表 1)。

为了进一步研究焉耆盆地侏罗纪煤层和泥岩的生烃能力,选择代表性样品进行核磁共振分析(表 2)。通过对博南 1 井、城 1 井、马 1 井部分样品生烃潜力的核磁共振研究,进一步证实了倾油倾气结论(表 2)。这不仅是因为显微组分组成的变化,而且与显微组分的不同分布形式所代表的聚煤环境的差异有关,镜质组—壳质组+腐泥组组合型代表了强还原的聚煤环境,而镜质组—惰性组组合型代表了较氧化的聚煤环境。

表2 焉耆盆地部分样品的<sup>13</sup>C NMR的组成及其与显微组成的关系  
Table 2 Results of <sup>13</sup>C NMR analysis for samples from the Yanqi basin

井号	深度/m	层位	岩性	芳构碳	脂构碳	油潜力碳	气潜力碳	镜质组	惰性组	壳质和腐泥组
博南1井	1472	三间房组	浅灰色粉砂质泥岩(碳屑)	0.785 0	0.215 0	0.105 5	0.109 5	20.3	1.6	78.1
博南1井	2053	西山窑组	深灰色泥岩	0.720 8	0.279 2	0.223 7	0.055 5	46.5	24.3	29.2
博南1井	2818	三工河组	深灰色泥岩	0.624 4	0.375 6	0.180 9	0.194 8	21.6	18.4	60.0
博南1井	3500	八道湾组	煤岩	0.689 0	0.311 0	0.219 0	0.092 0	90.0	10.0	
城1井	2073~2082	西山窑组	灰色泥岩	0.690 0	0.310 0	0.152 7	0.157 3	55.0	28.3	16.7
城1井	2392	西山窑组	煤岩	0.633 6	0.366 4	0.184 9	0.181 6	73.6	19.6	6.8
城1井	2685~2693	三工河组	灰色泥岩	0.663 3	0.336 7	0.199 2	0.137 5	63.5	20.7	14.0
城1井	3185.58	八道湾组	黑色碳质泥岩	0.682 5	0.317 5	0.190 1	0.127 4	91.2	1.9	6.9
马1井	824	八道湾组	黑色碳质泥岩	0.645 2	0.354 8	0.192 8	0.162 0	43.0	3.8	53.2
马1井	1047	八道湾组	煤岩	0.691 9	0.308 1	0.173 6	0.134 5	91.5	8.0	0.5
马1井	1714.54	八道湾组	碳质泥岩	0.735 9	0.264 1	0.151 3	0.112 8	100.0		

有机显微组分的单位为%。

## 4 油源对比

焉耆盆地博湖坳陷已发现宝浪和本布图2个油田,宝北、宝中、本布图和本布图东4个含油区块。焉耆盆地已发现的原油具有如下生物标志物分布特征:三环萜烷不发育,  $T_m > T_s$ ,  $17\alpha(H)$ -重排藿烷比较发育,伽玛蜡烷不发育;以  $C_{29}$  甾烷为主,  $C_{29}$  甾烷  $\gg C_{27}$  甾烷和  $C_{28}$  甾烷之和,且重排甾烷不发育。

焉耆盆地不同岩性单元的生物标志物组合存在一定的差异。下侏罗统煤系泥岩的生物标志物分布特征是:  $T_m \gg T_s$ , 伽玛蜡烷极不发育,  $C_{29}$  降新藿烷 ( $C_{29} T_s$ ) 和  $C_{30}$  重排藿烷均不发育;但  $C_{29}$  降藿烷比较发育,  $C_{29}$  降藿烷  $> C_{30}$  藿烷, 降莫烷亦较发育。碳质泥岩的生物标志物特征分为2种情况:其一,  $C_{29}$  降藿烷大于  $C_{30}$  藿烷, 相应的  $C_{29}$  莫烷也比较发育,  $T_m \gg T_s$ , 伽玛极不发育, 反映淡水沉积特征;其二,  $C_{30}$  藿烷  $> C_{29}$  降藿烷, 相应的  $C_{29}$  降新藿烷 ( $C_{29} T_s$ ) 和  $C_{30}$  重排藿烷均比较发育, 伽玛蜡烷丰度很低。煤岩的生物标志物分布特征与碳质泥岩基本相同, 也分2种类型:一种是  $C_{30}$  藿烷  $> C_{29}$  藿烷,  $T_m \gg T_s$ , 伽玛蜡烷极不发育;另一种是  $C_{29}$  降藿烷  $> C_{30}$  藿烷,  $T_m \gg T_s$ , 伽玛蜡烷亦不发育。

原油及不同类型潜在源岩的生物标志物对比表明,焉耆盆地中、下侏罗统原油并非单一来源,而是侏罗系煤系中泥岩、碳质泥岩和煤的混源油。

## 5 结论

(1) 焉耆盆地侏罗系煤系泥岩、碳质泥岩和煤层

均发育不同的有机显微组分组合,不同显微组分组合的煤层具有不同的富氢程度(不同的 H/C 原子比和不同的氢指数),因此具有不同的生烃潜力。(2) 焉耆盆地很多侏罗系煤层具有较高的基质镜质体 B 含量。基质镜质体 B 具有较强的荧光,属于富氢镜质体,是除角质体、孢子体、木栓质体等壳质组分之外的主要生烃组分。(3) 焉耆盆地已发现原油的生物标志物组成复杂,属于侏罗纪煤系泥岩、碳质泥岩和煤层的混源油,这证明煤系不仅可以成为有效气源岩,而且可以成为有效的油源岩。

## References

- Chen, X., Sun, F. H., Fu, W. D., et al., 2001. Physical properties and control factors of reservoir development in Badaowan Formation of Yanqi basin. *Journal of Jianghan Petroleum Institute*, 24(4): 19-22 (in Chinese with English abstract).
- Cheng, K. M., 1994. Oil and gas generation in the Tuha basin. Petroleum Industry Press, Beijing (in Chinese).
- Fu, J. M., Liu, D. H., Sheng, G. Y., 1992. Geochemistry of coal-generated hydrocarbons. Science Press, Beijing (in Chinese).
- Gao, X. Z., Chen, X., Yuan, J. X., et al., 2003. Sealing effect of faults on petroleum migration and accumulation in Bohu depression of Yanqi basin. *Xinjiang Petroleum Geology*, 24(1): 35-37 (in Chinese with English abstract).
- Hao, F., Chen, J. Y., 1990. Discussions on some questions about coal-generated oils. *Geological Science and Technology Information*, 9(1): 53-59 (in Chinese with English abstract).
- Hao, F., Chen, J. Y., 1992. The cause and mechanism of vit-

- rinite reflectance anomalies. *Journal of Petroleum Geology*, 15(3): 419-434.
- Lin, S. Q., Qiu, R. H., Li, Y. L., et al., 2003. Analysis of pool forming periods in Jurassic Yanqi basin. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 28(1): 71-77 (in Chinese with English abstract).
- Qin, Y., Zhang, Y. S., Zhu, Y. M., et al., 2000. Lagging and reaction kinetic mechanism of hydrocarbon regeneration from orogenic matters in coals. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 25(3): 278-282 (in Chinese with English abstract).
- Tissot, B. P., Welte, D. H., 1984. Petroleum formation and occurrence. 2nd Edition. Springer-Verlag, Berlin, 699.
- Zhang, P. F., Jin, K. L., Wu, T., et al., 1997. Coal-bearing sediments and coal-generated oils in the Tuha basin. Coal Industry Press, Beijing (in Chinese).
- Zhu, F. B., 2002. Research on characteristic of source rock and immature oils distribution in western depression, Li-aohu basin. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 27(1): 25-29 (in Chinese with English abstract).
- 附中文参考文献**
- 陈祥, 孙凤华, 伏卫东, 等, 2001. 焉耆盆地八道湾组储层物性特征及发育控制因素研究. 江汉石油学院学报, 24(4): 19-22.
- 程克明, 1994. 吐哈盆地油气生成. 北京: 石油工业出版社.
- 傅家谟, 刘德汉, 盛国英, 1992. 煤成烃地球化学. 北京: 科学出版社.
- 高先志, 陈祥, 原建香, 等, 2003. 焉耆盆地博湖坳陷断层封闭性与油气藏形成. 新疆石油地质, 24(1): 35-37.
- 林社卿, 邱荣华, 李永林, 等, 2003. 焉耆盆地侏罗系油气成藏期次分析. 地球科学——中国地质大学学报, 28(1): 71-77.
- 郝芳, 陈建渝, 1990. 有关煤成油若干问题的探讨. 地质科技情报, 9(1): 53-59.
- 秦勇, 张有生, 朱炎铭, 等, 2000. 煤中有机质二次生烃迟滞性及其反应动力学机制. 地球科学——中国地质大学学报, 25(3): 278-282.
- 张鹏飞, 金奎励, 吴涛, 等, 1997. 吐哈盆地含煤沉积与煤成油. 北京: 煤炭工业出版社.
- 朱芳冰, 2002. 辽河盆地西部凹陷源岩特征及低熟油分布规律研究. 地球科学——中国地质大学学报, 27(1): 25-29.