

文章编号:1000-0550(2018)05-0903-11

DOI: 10.14027/j.issn.1000-0550.2018.064

二连盆地胜利煤田含煤地层埋藏史及热史分析

余坤^{1,2}, 屈争辉^{1,3}, 琚宜文², 薛志文^{1,3}

1.中国矿业大学资源与地球科学学院,江苏徐州 221116

2.中国科学院大学地球与行星科学学院,北京 100049

3.中国矿业大学煤层气资源与成藏过程教育部重点实验室,江苏徐州 221008

摘要 根据地层岩性数据及热物理参数,利用50组镜质组反射率数据,46组泥岩声波时差数据以及3个钻孔的地温数据,重建胜利煤田晚白垩世以来的埋藏史、热演化史和生烃史。结果表明:1)胜利煤田表现出“早期沉降伴随抬升,晚期终止”的埋藏特征。阿尔善组至都红木组1段沉积期,研究区处于加速—快速沉降期,其沉积末期发生第一期抬升剥蚀,剥蚀量约410 m;都红木组2段至赛罕塔拉沉积期,研究区再次进入快速沉降期,而后发生第二期抬升剥蚀,剥蚀量约580 m;赛罕塔拉沉积末期至今,研究区处于缓慢—终止沉降期;2)阿尔善组至都红木1段沉积期,研究区地温逐渐升高,在都红木组1段沉积末期地温达到峰值约90℃,随后在第一期抬升剥蚀作用下,地温迅速下降;在赛罕塔拉组沉积期地温迅速升高,沉积末期达到峰值120℃,处于异常高地温状态,而后经过第二期抬升剥蚀作用,地温下降,此后研究区地温处于稳定阶段;3)烃源岩成熟度受控于古地温,阿尔善组和腾格尔组烃源岩处于低成熟—成熟阶段,有一定的生烃潜力,而都红木组和赛罕塔拉组处于未成熟阶段,几乎无生烃潜力。

关键词 二连盆地;胜利煤田;含煤地层;埋藏;地温;成熟度

第一作者简介 余坤,男,1995年出生,硕士研究生,构造地质学,E-mail: yukuncumt@foxmail.com

通信作者 屈争辉,男,副教授,E-mail: quzhenghuiyy@163.com

中图分类号 P618.130.2 **文献标志码** A

0 引言

沉积盆地热演化史控制着烃源岩成熟演化、生烃和油气运移史,此外还控制着油气资源评估,还能分析盆地形成机制和构造热演化提供信息^[1-2]。近年来对二连盆地煤及油气资源勘探取得了丰硕的成果^[3-4],但由于二连盆地演化历史复杂,各个凹陷研究程度不一,对胜利聚煤盆地演化研究涉及较少,限制了对该区烃源岩成熟、生烃、排烃、演化程度、资源潜力的认识^[5]。此外,对于煤系烃源岩成熟演化缺少系统性的研究。本文基于镜质体反射率和泥岩声波时差数据重建胜利煤田中生代至新生代理藏史及热演化史,讨论了烃源岩成熟史和盆地演化之间的关系,旨在为胜利煤田煤系气资源开发提供理论基础。

1 地质概况

1.1 大地构造概况

二连盆地在大地构造位置上位于华北板块与西伯利亚板块的缝合带处,是在海西期褶皱基底上形成

的中生代断陷盆地。二连盆地是由许多中小规模凹陷组合而成,其特征表现为一断陷盆地群^[6-7]。盆内划分为“五坳一隆”六大构造单元格局(图1),西部凹陷带主要有井川坳陷和乌兰察布坳陷和马尼特坳陷,东部凹陷带为腾格尔坳陷、乌尼特凹陷和马尼特坳陷,中部为苏尼特隆起,形成了坳陷与隆起相间分布的构造格局^[9-10]。二连盆地及其周边地区断裂构造发育,盆地北部发育一条深大断裂,其贯穿整个西伯利亚板块与华北板块边缘带发育的中生代沉积盆地。盆地内部主要发育正断层,断裂分布具有明显的方向性,断层走向以NE向为主,伴随着NW向的小规模正断层,且苏尼特隆起以北断层倾向NW,以南断层倾向SE,断裂构造特征与燕山期的北西向的构造应力关系密切。

胜利煤田位于二连盆地东北部乌尼特坳陷西南部,其空间形态呈NNE向展布,构造形态为一大型宽缓向斜(图2)^[11]。胜利煤田形成于燕山期,为中生代聚煤盆地,其基底为古生界海相地层,中生代发育陆相地层,以火山—沉积地层为代表。区内广泛出露

收稿日期:2017-07-17;收修改稿日期:2017-09-30

基金项目:国家科技重大专项(2016ZX05041001,2016ZX05066003);国家自然科学基金项目(41302130,41430317)[**Foundation:** National Science and Technology Major Project, No.2016ZX05041001, 2016ZX05066003; National Natural Science Foundation of China No. 41302130,41430317]

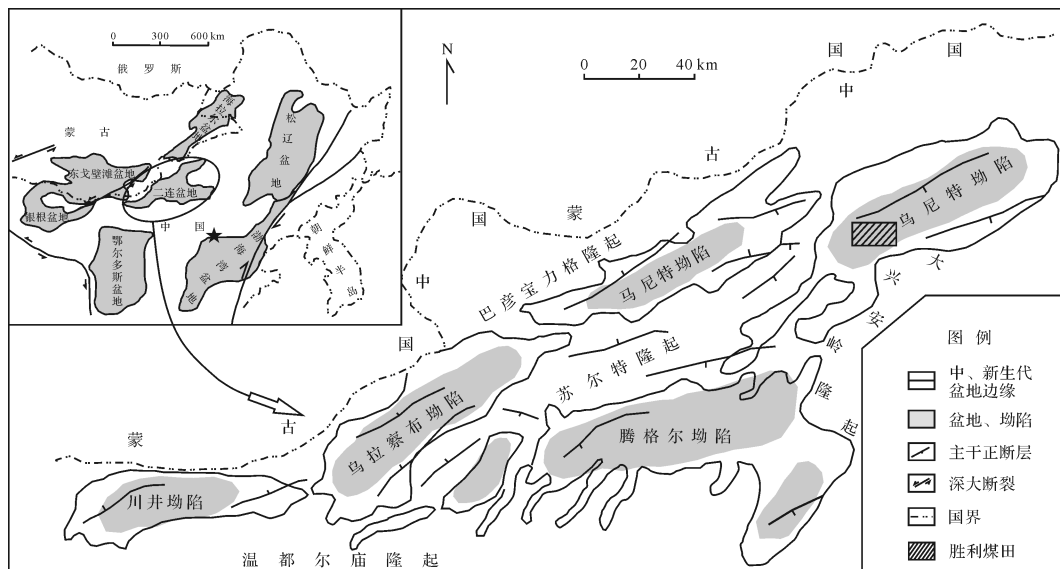
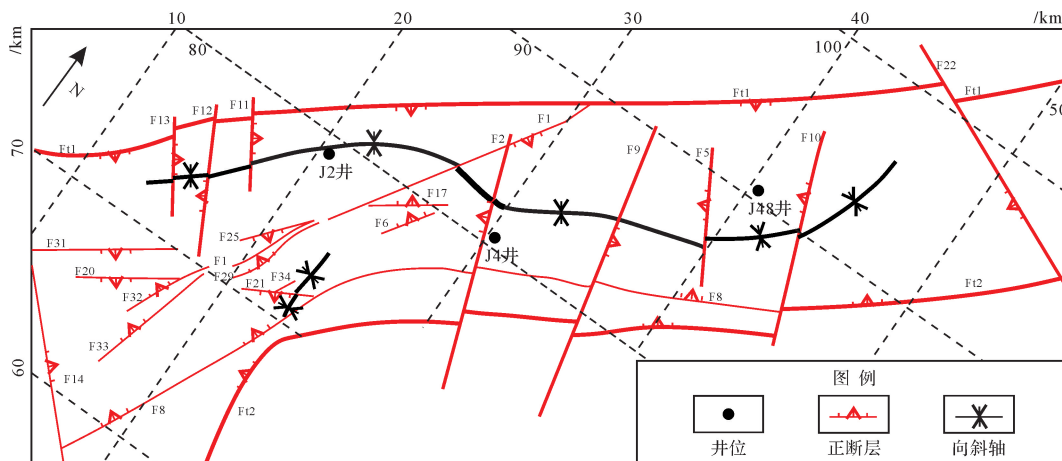
图1 二连盆地构造纲要图^[8]Fig.1 The structural compendium map of Erlian Basin^[8]

图2 胜利煤田构造纲要图

Fig.2 Structure outline map of Shengli coalfield

下白垩统巴彦花群,地层厚度巨大,主要以煤系地层为主,同时地质历史各个时期的火成岩在煤田及其周围区域均有分布^[12-14]。

1.2 含煤地层

二连盆地群含煤地层时代属早白垩世,含煤地层自下而上依次为阿尔善组、腾格尔组、都红木组及赛汗塔拉组。二连盆地煤田有两种主要的沉积充填序列,其一以吉尔嘎朗图、巴彦花凹陷为代表,煤系地层自下而上可以划分为6套沉积组合,即底部砂砾岩段、下部泥岩段、下部含煤段、上部泥岩段、上部含煤段和上部砂泥岩段,其以湖相泥岩段和含煤段交替出现为特征;其二以乌套海凹陷为代表,自下而上可划分为5套沉积组合,即底部砂砾岩段、下部含煤段、中部

粉砂泥岩段、上部含煤段和顶部砂砾岩段^[15-16]。根据胜利煤田沉积特征以及与邻区聚煤盆地早白垩世煤系地层划分与对比,将研究区分为底部砂砾岩段(阿尔善一段, K_1ba^1)、下部泥岩段(阿尔善二段, K_1ba^2)、下部含煤段(腾格尔组, K_1bt)、上部泥岩段(都红木组一段, K_1bd^1)、上部砂泥岩段(都红木组二—三段, K_1bd^{2+3})和上部含煤段(赛汗塔拉组, K_1bs) (图3)。

2 模型建立与参数设定

2.1 埋藏史恢复模型

盆地埋藏史恢复方法通常分为两类,分别为正演法和反演法。正演法是按照地质年代由古至今的沉积埋藏恢复方法,如沉积速率法;反演法是由新地层

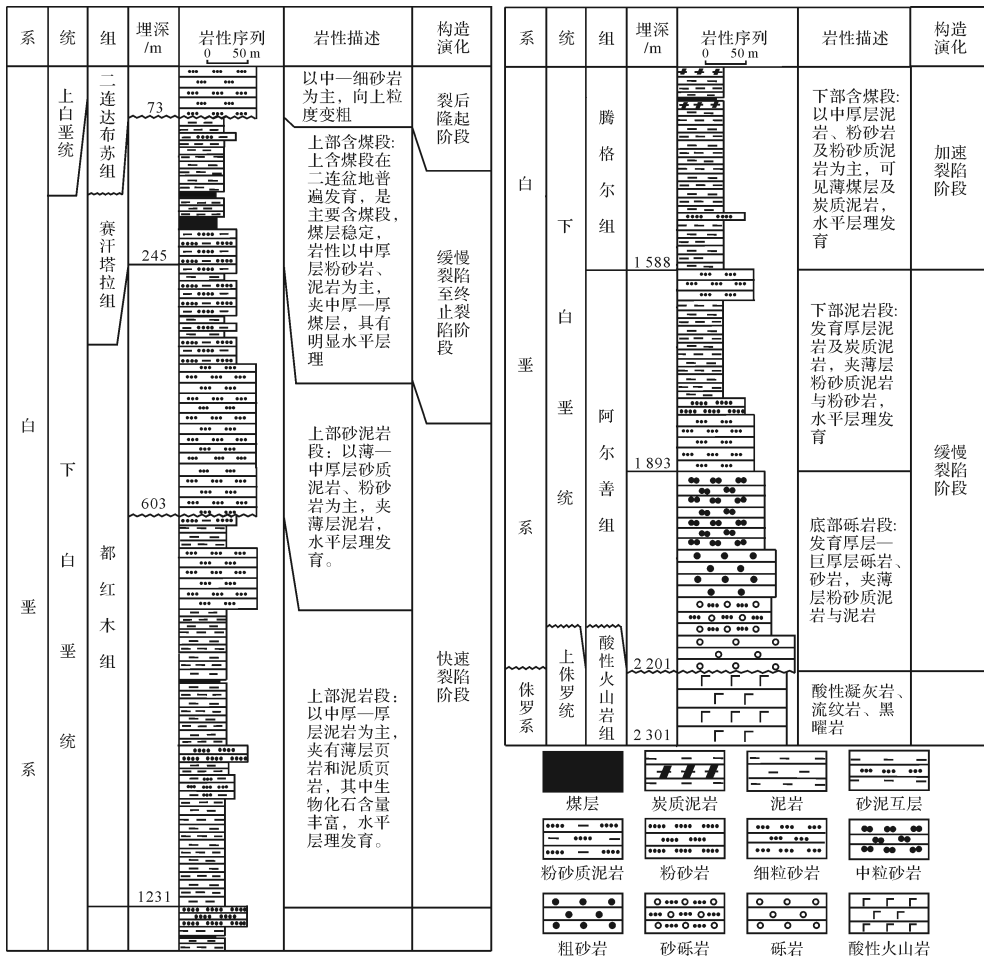


图3 二连盆地胜利煤田含煤地层柱状图

Fig.3 The coal bearing strata histogram of Shengli coalfield in Erlian Basin

向老地层反推恢复埋藏史的方法,如回剥法。但二者均采用的是沉积压实模型原理,随着地层的埋深增加,其上覆地层的厚度增加,其所受的地层压力增加,使得岩层孔隙度降低,体积压缩^[17]。本文采用回剥法进行盆地埋藏史模拟恢复。回剥技术普遍适用于地层正常压实带,其主要依据沉积压实原理,结合单井的地层参数,考虑地层压实作用、超压作用、地层抬升剥蚀作用以及断裂构造等地质事件影响,依据地质年代时间节点,进行地层逐层剥去,剥完为止,最终得到单井的地质年代与埋深的关系^[18-19]。

在正常压实情况下,地层孔隙度和埋深的关系服从指数分布:

$$\varphi = \varphi_0 e^{-cz} \quad (1)$$

式中, φ 为埋深为 Z 时的孔隙度, φ_0 为地表孔隙度, c 为压实系数。

参考煤田资料,可知地表孔隙度 47%;埋深 3 000 m 的岩层孔隙度 11%。将其带入到式(4.1),可计算

出压实常数:

$$c = 4.121 \times 10^{-4}$$

岩层孔隙度在受压实过程中,沉积物骨架部分的体积不变,只有孔隙部分发生变化。如果某层深度 Z_1 至 Z_2 时 ($Z_2 > Z_1$),层内孔隙所占体积 V_m 为:

$$V_m = \int_{z_1}^{z_2} \varphi_0 e^{-cz} dz = \frac{\varphi_0}{c} [e^{-cz_1} - e^{-cz_2}] \quad (2)$$

设地层总体积为 V ,岩石颗粒体积为 V_s ,则

$$V = V_s + V_m \quad (3)$$

纯岩石颗粒的高度 H_s :

$$H_s = (Z_1 - Z_2) - \frac{\varphi_0}{c} [e^{-cz_1} - e^{-cz_2}] \quad (4)$$

$$\text{则 } Z_2 = H_s + Z_1 + \frac{\varphi_0}{c} [e^{-cz_1} - e^{-cz_2}] \quad (5)$$

首先,现今各地层的厚度见表 1,并由公式(4.4)计算出各地层的骨架厚度(表 2)。然后按照地质年代由新到老地逐层回剥,每剥一层把所有的地层重新计算。

表 1 胜利煤田现今各层位地层信息

Table 1 Stratigraphic information of Shengli coalfield at present

地质年龄 /Ma	地层		盆地地层厚度	井田地层厚度	埋深	岩石骨架厚度
	组	代号	/m	/m	/m	/m
95	二连达布苏组	K_2er	0~75	73	73	39
100	赛汗塔拉组	K_1bs	0~300	172	245	96
		K_1bd^3	47~307	358	603	217
103	都红木组	K_1bd^1	120~833	628	1 231	425
107		K_1bd^2	56~409	357	1 588	263
110	腾格尔组	K_1bt	91~828	305	1 893	235
125	阿尔善组	K_1ba^2	102~831	322	2 215	257
135		K_1ba^1	151~388			

表 2 胜利煤田地质历史时期各层位埋深恢复结果

Table 2 Buried depth recovery results of Shengli coalfield during geological history

层号	地层	现今埋深 /m	古地层埋深/m					
			剥去 A 层	剥去 B 层	剥去 C 层	剥去 D 层	剥去 E 层	剥去 F 层
A	K_2er	73	0	0	0	0	0	0
B	K_1bs	245	175	0	0	0	0	0
	K_1bd^3							
C	K_1bd^2	603	540	382	0	0	0	0
	K_1bd^1	1 231	1 175	1 038	716	0	0	0
E	K_1bt	1 588	1 535	1 405	1 104	460	0	0
F	K_1ba^2	1 893	1 842	1 716	1 467	870	770	0
G	K_1ba^1	2 215	2 165	2 044	1 775	1 239	1 115	450

2.2 热史恢复模型

烃源岩镜质体反射率 R_o (%) 反映了其在地质历史时期所经历的最高古温度 T_{max} (°C), 这一反应是不可逆的^[20-21]。基于该原理, 可以通过镜质体反射率来恢复烃源岩在地质演化的过程中经历的最高古温度。据任战利^[22]等研究成果表明, 沉积有机质在达到一定的生烃温度后约 1~10 Ma 内可达到生烃成熟阶段, 并会长期保持在一个相对稳定的状态, 后期不在随着受热时间的长短而发生成熟度的变化。本次对胜利煤田古地温的恢复主要使用 Barker *et al.*^[23] 提出最大温度模型, 该模型基于全球 35 个地区大量烃源岩沉积有机质 R_o 数据而建立的, 利用 R_o 平均值和对应的 T_{max} 拟合的回归方程 $\ln(R_{o,max}) = 0.009 6T_{max} - 1.4$, 该方程相关系数较高 $R^2 = 0.84$, 所拟合的结果可信度高。根据上述方程可以利用研究区烃源岩中镜质体反射率值推测其在地质历史时期所经历的最大古温度。

2.3 参数设定

2.3.1 基础地质参数

依据煤田地质资料, 得到了研究区恢复白垩系—第四系埋藏史涉及地层厚度、岩性、地层压实、地层沉

积和剥蚀时间、地层剥蚀厚度等数据。地层年代采用国际标准地层年龄(2016年)。由于研究区缺少热物理参数, 如现今和古地表温度、热梯度、热流、岩石导热性等, 故采用胜利煤田邻区的数据。依据煤田地质资料, 得到胜利煤田 12-9、24-15、32-10 号钻孔地温测量数据, 3 个钻孔地温梯度为 3.60~4.42 °C/100m, 平均地温梯度为 3.8 °C/100m, 属较高地温状态。

2.3.2 地质历史时期的不整合面剥蚀量的限定

早白垩世, 由于受燕山运动影响, 胜利煤田发育两个重要的区域性不整合接触, 分别位于都红木组 1 段和都红木组 2 段之间、赛汗塔拉组和二连达布苏组之间。利用镜质体反射率法和泥岩声波时差法恢复研究区典型井关键抬升剥蚀期的剥蚀量, 统计结果见表 3。采用二连盆地胜利煤田 J2 井及邻区 50 组烃源岩 $R_{o,max}$ 数据(表 4), 重建 K_1bs/K_2er 剥蚀厚度, 由恢

表 3 胜利煤田及其邻区典型井地层剥蚀量统计

Table 3 Formation denudation statistics of typical wells in Shengli coalfield and its adjacent area

井名	剥蚀厚度/m		井名	剥蚀厚度/m	
	K_1bd^1/K_1bd^2	K_1bs/K_2er		K_1bd^1/K_1bd^2	K_1bs/K_2er
J2	410	580	D49	600	470
J48	480	630	C9	700	520
X25	730	810	J4	560	670

复结果可知(图 4a),研究区赛汗塔拉组沉积末期遭受构造抬升剥蚀厚度为 580 m,使得赛汗塔拉组与上覆二连达布苏组之间不整合接触,这一抬升剥蚀事件在整个华北地区中生代盆地普遍存在,但各个地区的剥蚀厚度有区域性差异。都红木组 1 段和都红木组

2 段的泥岩声波传播时间有显著差异,两段之间存在构造单元的差异压实,利用 J4 井 46 组泥岩声波时差数据重建都红木组 1 段和都红木组 2 段之间的剥蚀量,结果表明,研究区在都红木组 1 段和都红木组 2 段之间剥蚀厚度约 410 m(图 4b)。

表 4 二连盆地胜利煤田及邻区含煤地层镜质体反射率统计表

Table 4 Vitrinite reflectance statistics of coal bearing strata in Shengli coalfield and its adjacent area, Erlian Basin

层位	埋深 /m	$R_{o,max}$ /%	层位	埋深 /m	$R_{o,max}$ /%	层位	埋深 /m	$R_{o,max}$ /%	层位	埋深 /m	$R_{o,max}$ /%
二连达布苏组	70	0.21	赛汗塔拉组	230	0.32		280	0.43		567	0.47
	75	0.21		232	0.34		310	0.43	都红木组一段	632	0.44
	80	0.20		233	0.31		315	0.42		700	0.48
	85	0.20		234	0.32		327	0.37		720	0.45
	90	0.22		235	0.35		335	0.41		735	0.49
	87	0.21	都红木组三段	260	0.37		358	0.39		741	0.47
	92	0.23		263	0.35		379	0.38		748	0.47
	98	0.22		264	0.38	都红木组二段	400	0.42		756	0.45
	100	0.21		267	0.40		431	0.45		783	0.47
	150	0.32		269	0.32		445	0.40		793	0.50
	180	0.33		273	0.35		472	0.41		800	0.50
	205	0.33		277	0.41		500	0.45			
	210	0.34		279	0.42		534	0.44			

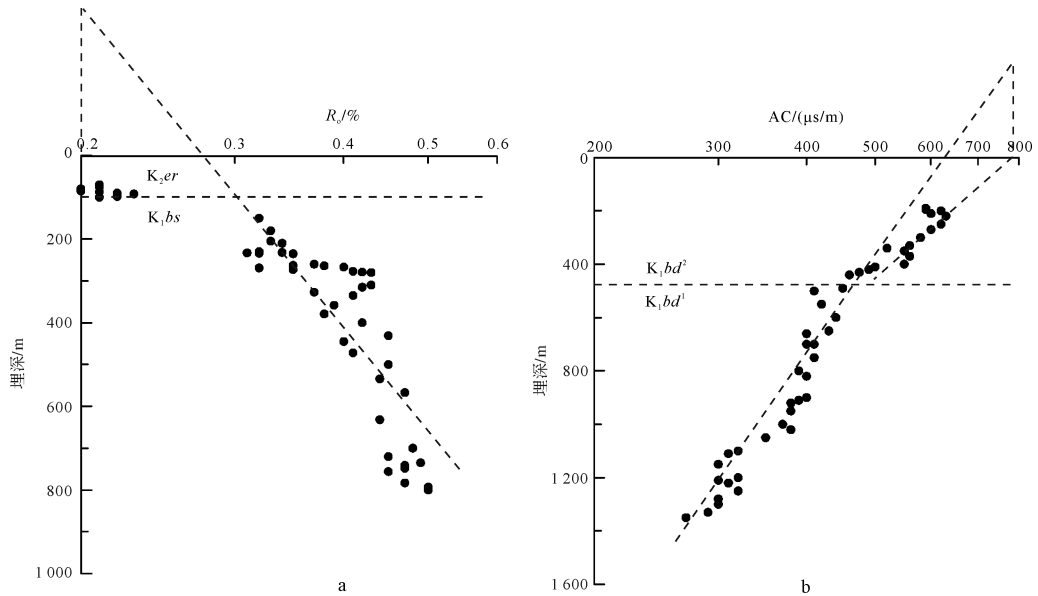


图 4 胜利煤田 K_1bs/K_2er 和 K_1bd^1/K_1bd^2 剥蚀量恢复

Fig.4 Recovery of erosion amount of K_1bs/K_2er and K_1bd^1/K_1bd^2 in Shengli coalfield

3 模拟结果与分析

3.1 埋藏史模拟结果与分析

胜利煤田含煤地层主要分布在下白垩统,分别为阿尔善组、腾格尔组、都红木组及赛汗塔拉组,其中赛

汗塔拉组为主要含煤地层,研究区内进行了大量的煤田地质钻探,本文选取了胜利煤田 J2 井进行剥蚀厚度恢复,得到单井回剥柱状剖面图(图 5)。采用 PetroMod 盆地模拟软件进行盆地模拟,得到该井埋藏曲线图(图 6)。研究区表现“早期沉降伴随抬升,晚

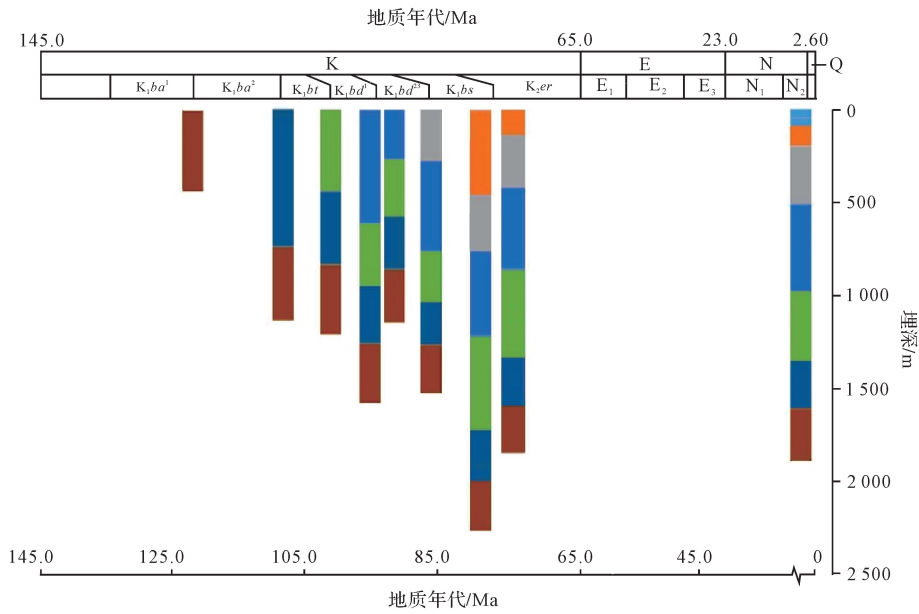


图5 胜利煤田 J2 井回剥柱状剖面图

Fig.5 Stripping column profile of Well J2 in Shengli coalfield

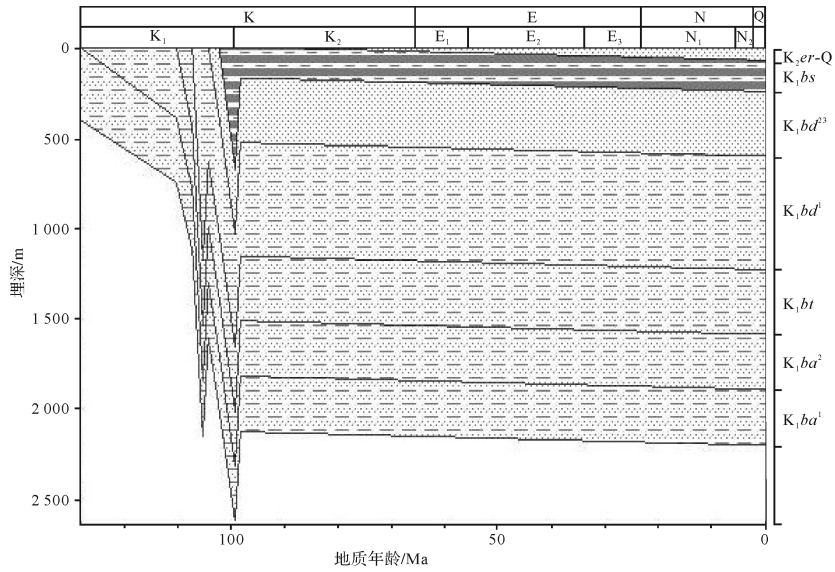


图6 胜利煤田下白垩统各层埋藏曲线图

Fig.6 Burial history of Lower Cretaceous in Shengli coalfield

期终止”的埋藏特征。

由埋藏历史可知,在都红木组 1 段沉积期,研究区煤系地层第一次达到最大埋深 1 600 m,沉积末期发生第一期抬升剥蚀,剥蚀量约 410 m,在都红木组 2 段至赛汗塔拉沉积期,研究区进入快速沉降期,沉降速率为 45 m/Ma,含煤地层第二次达到最大埋深 2 100 m;而后发生第二期抬升剥蚀,剥蚀量约 580 m,在赛罕塔拉沉积末期至今,研究区处于缓慢—终止沉

降期。

3.2 热演化史恢复结果与分析

3.2.1 胜利煤田煤系地层古地温场

本次拟合的 R_0 数据来自赛汗塔拉组 5[#]、6[#] 煤的煤样测试值和都红木组中上段烃源岩的 R_0 参考值,结果表明拟合地质历史时期的温度与埋深有较好的对数函数曲线关系,与前人认识一致。该区赛汗塔拉组与二连达布苏组之间为不整合接触,不整合面的埋

深约 80 m,其间剥蚀厚度为 580 m,根据最大温度模型计算出各个点对应的古温度,利用多个测点的计算值求取平均值即为古温度梯度。由结果可知,地质历史时期,研究区都红木组 1 段最大古温度为 72 ℃,赛汗塔拉组最大古温度为 60 ℃,古温度梯度为 4.8 ℃/100m。

3.2.2 模拟结果与分析

依据埋藏史和热演化史模拟结果(图 7),研究区经历了两期构造抬升,第一期构造抬升为都红木组 1 段沉积末期,第二期构造抬升为赛汗塔拉组沉积末期。两期构造抬升导致地层温度与 R_o 发生两次跃变(图 7,8),阿尔善期至都红木 1 段沉积期,研究区地

温梯度逐渐升高,在都红木组 1 段沉积末期古地温达到峰值约 90 ℃,随后在第一期抬升剥蚀作用下,地温迅速下降,在赛汗塔拉组沉积期古温度迅速升高,沉积末期达到峰值 120 ℃,达到异常高地温状态,后期经过第二期抬升剥蚀作用,古地温下降,进入热沉降阶段,晚白垩世至今,地温基本稳定。

胜利煤田含煤地层经历了燕山运动的两期构造抬升运动,在图 7 中可以看到 R_o 值发生两次明显的跃变,反映了构造抬升剥蚀作用对沉积有机质热演化程度的影响。构造抬升运动结束后,研究区进入了稳定的沉积阶段,地温梯度 3.8 ℃/100m,此时研究区含煤地层烃源岩成熟度基本稳定。

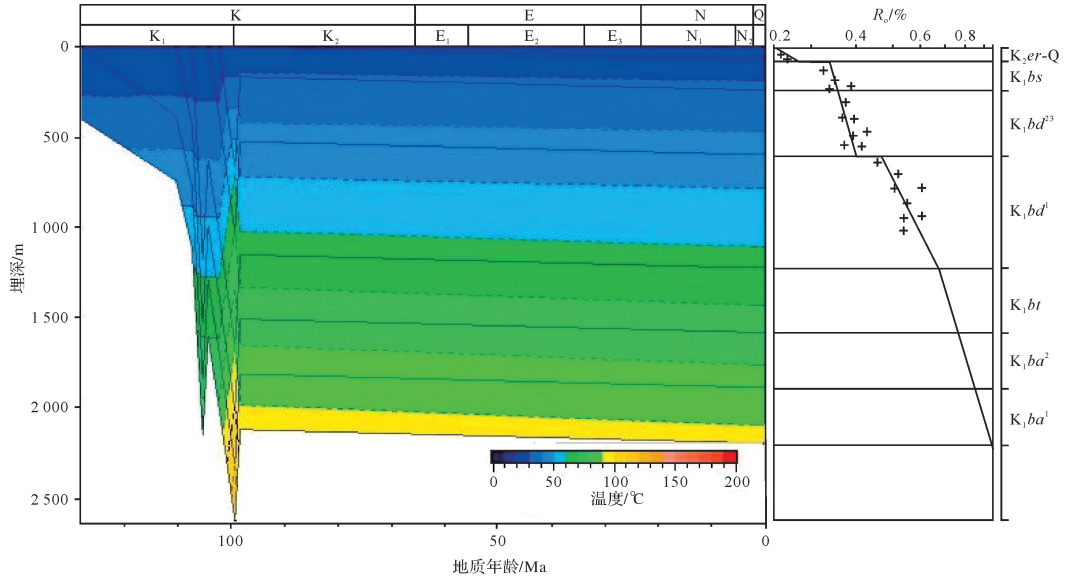


图 7 胜利煤田下白垩统埋藏与热演化拟合图(“+”代表镜质组实测值)

Fig.7 The map of burial and thermal evolution history of Lower Cretaceous in Shengli coalfield (“+” means measured vitrinite reflectance (R_o) datum)

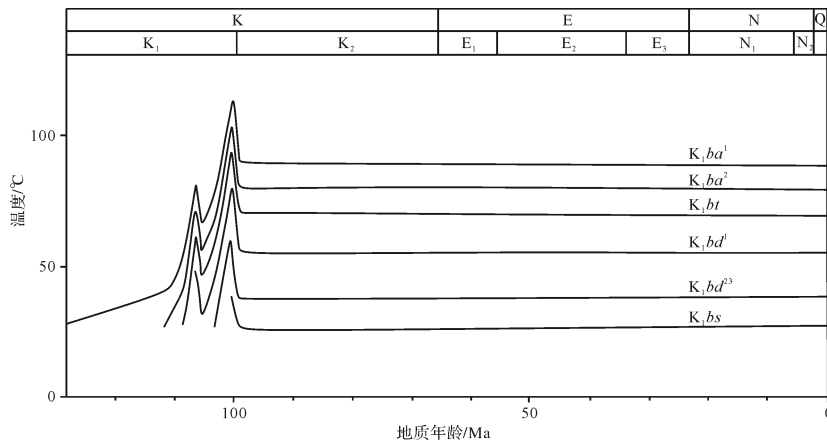


图 8 胜利煤田下白垩统各组地温演化

Fig.8 Geotemperature evolution of Lower Cretaceous in Shengli coalfield

3.2.3 热演化史与构造演化耦合关系

胜利煤田下白垩统高地温状态和华北中生代裂谷盆地是一致的。区域上,胜利煤田地温状态与太平洋板块向欧亚板块俯冲密切相关。早白垩世,太平洋板块板约呈 30° 角俯冲到欧亚板块地幔深度 $400 \sim 600$ km 处,使地幔的黏度降低,地幔的活动增强。与此同时,太平洋板块的东部边缘新产生左旋走滑断层与欧亚板块提供了一个低黏度地幔上涌的渠道,大量地幔热物质注入岩石圈形成高地热状态。晚白垩世至今,二连盆地胜利煤田进入热沉降阶段,地温逐渐降低^[24]。

阿尔善期至都红木 1 段沉积期,受燕山运动影响,胜利煤田经历了缓慢—快加速伸展断陷阶段,地壳断裂作用增强,地壳变薄,地球深部热能很容易释放到浅层,导致地温迅速增加,都红木组 1 段沉积末期(大约距今 107 Ma),凹陷古地温第一次达到峰值,为 90°C 。都红木二段沉积期至赛罕塔拉期,含煤地层遭受抬升剥蚀,此时岩石圈变薄,地热梯度又开始迅速增加,赛罕塔拉组沉积末期,古地温第二次达到峰值,为 120°C ,进入高地温状态,晚白垩世至今,研究区进入热沉降阶段,地温梯度稳定。

3.3 生烃史

据钻孔资料和 PetroMod 盆地模拟结果,二连盆地胜利煤田下白垩统巴彦花群形成了一个较好的生储盖组合,阿尔善组 1 段及下伏地层为基底,阿尔善组 2 段、腾格尔组、都红木组及赛罕塔拉组为烃源岩层,赛罕塔拉组顶部及二连达布苏组致密泥岩与粉砂岩组合形成了良好的盖层,上覆古近系及第四系松散堆积物形成上覆地层。其中主要生烃层位为下白垩统巴彦花群阿尔善组 2 段、腾格尔组及赛罕塔拉组,

各组内部或之间又形成一套生储盖组合。

3.3.1 生烃期

模拟结果表明研究区下白垩统巴彦花群各个层位的烃源岩有机质成熟度在赛罕塔拉组沉积末期达到最大值,在 96 Ma 以后一直处于稳定状态,基本不变(图 9)。据石油行业标准 SY/T 5735—1995,依据镜质组反射率对烃源岩的成熟度和成熟阶段划分结果,研究区阿尔善组 2 段烃源岩到达低成熟—成熟阶段($0.62\% < R_o < 0.72\%$),具有较强的生烃潜力;腾格尔组烃源岩达到低成熟阶段($R_o = 0.55\%$),有一定的生烃潜力;而都红木组段和赛罕塔拉组烃源岩处于未成熟阶段($0.32\% < R_o < 0.48\%$),几乎无生烃潜力;研究区各组的烃源岩的成熟演化有所差异。综上所述,现今阿尔善组和腾格尔组烃源岩达到低—成熟阶段,主要生成湿气,仅少数烃源岩经历了生烃最高峰,阿尔善组和腾格尔组具有生烃潜力,都红木组和赛罕塔拉组几乎无生烃潜力。

含煤地层在后期被构造抬升剥蚀至近地表处,细菌通过流动水可运移到煤层中,在中低阶煤盐度、温度适宜的条件下,细菌代谢降解作用生成甲烷,形成次生生物气藏。胜利煤田赛罕塔拉组含煤厚度巨大,埋深浅,为低阶煤,且赛罕塔拉组沉积末期经历构造抬升剥蚀作用,煤层处于盆地中心,盆地边缘流水可渗透至煤层中,有利于细菌运移到煤层中去,形成次生生物气,可能存在潜在的生物成因气藏,这一结果与《二连盆地煤层气资源评价报告》中的调查结果一致。

3.3.2 生烃史和热演化史耦合关系

生烃史表明胜利煤田在赛罕塔拉组沉积末期,烃源岩成熟度达到最大值,赛罕塔拉组和都红木组烃源岩几乎无生烃潜力,阿尔善组和腾格尔组烃源岩进入

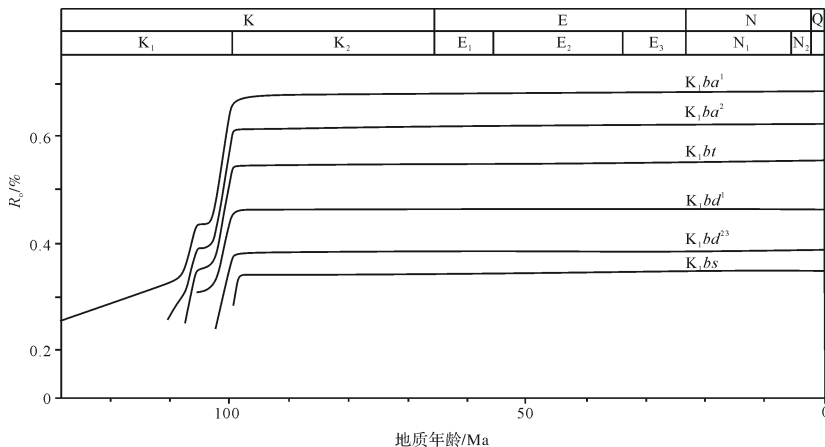


图9 胜利煤田下白垩统烃源岩有机质成熟史曲线图

Fig.9 Maturity history curve of source rocks in Lower Cretaceous in Shengli coalfield

生烃门限,处于低成熟生成阶段,未达到生油高峰期。总体上,研究区高地温场对烃源岩的生烃有直接的促进作用,但由于受燕山运动的影响,下白垩统烃源岩遭受两次抬升剥蚀,原有的古地温场发生改变,使得烃源岩的生烃能力遭到破坏,但抬升剥蚀作用导致细菌随盆地渗透水进入近地表煤层,使得赛汗塔拉组5#、6#煤层形成次生生物气藏。总的来说,胜利煤田赛汗塔拉组含煤地层是重要的非常规天然气藏,有一定的勘探潜力。

4 结论

(1) 胜利煤田表现“早期沉降伴随抬升,晚期终止”的埋藏特征。都红木组1段沉积期,胜利煤田含煤地层第一次达到最大埋深1600 m,其沉积末期发生第一期抬升剥蚀,剥蚀量约410 m;都红木组2段至赛汗塔拉沉积期,研究区进入快速沉降期,沉降速率为45 m/Ma,含煤地层第二次达到最大埋深2100 m,而后发生第二期抬升剥蚀,剥蚀量约580 m;赛汗塔拉沉积末期至今,研究区处于缓慢—终止沉降期。

(2) 胜利煤田经历的两期构造抬升导致地层温度与 R_0 发生两次跃变,阿尔善期至都红木1段沉积期,研究区地温逐渐升高,在都红木组1段沉积末期地温达到峰值约90℃,随后在第一期抬升剥蚀作用下,地温迅速下降;在赛汗塔拉组沉积期温度迅速升高,沉积末期达到峰值120℃,达到异常高地温状态,而后经过第二期抬升剥蚀作用,地温下降,进入热沉降阶段;晚白垩世至今,地温基本稳定。

(3) 胜利煤田阿尔善组烃源岩到达低成熟—成熟阶段($0.62\% < R_0 < 0.72\%$),具有较强的生烃潜力;腾格尔组烃源岩达到低成熟阶段($R_0 = 0.55\%$),有一定的生烃潜力;而都红木组和赛汗塔拉组烃源岩处于未成熟阶段($0.32\% < R_0 < 0.48\%$),几乎无生烃潜力。胜利煤田赛汗塔拉组含煤厚度巨大,埋深浅,为低阶煤,且赛汗塔拉组沉积末期经历构造抬升剥蚀作用,煤层处于盆地中心,盆地边缘流水携带细菌可渗透至煤层中,经生物代谢作用生成甲烷,可能形成次生生物气藏。

参考文献 (References)

[1] 贾承造,李本亮,张兴阳,等. 中国海相盆地的形成与演化[J]. 科学通报,2007,52(1):1-8. [Jia Chengzao, Li Benliang, Zhang Xingyang, et al. Formation and evolution of the Chinese marine basins[J]. Chinese Science Bulletin, 2007, 52(1): 1-8.]

[2] 王成善,李祥辉. 沉积盆地分析原理与方法[M]. 北京:高等教育出版社,2003:12-46. [Wang Chengshan, Li Xianghui. Analysis principle and method of sedimentary basin[M]. Beijing: Higher Education Press, 2003: 12-46.]

[3] 王崇敬,马施民,郭彪,等. 二连盆地群早白垩世含煤地层特征及对比分析[J]. 煤炭科学技术,2014,42(4):106-108,125. [Wang Chongjing, Ma Shimin, Guo Biao, et al. Analysis on characteristics and correlation of coal-bearing stratigraphic of Lower Cretaceous in Erlian Basins[J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(4): 106-108, 125.]

[4] Ding X J, Liu G D, Zha M, et al. Relationship between total organic carbon content and sedimentation rate in ancient lacustrine sediments, a case study of Erlian Basin, northern China[J]. Journal of Geochemical Exploration, 2015, 149: 22-29.

[5] 邓已寻. 二连盆地白音查干凹陷成烃机理及其对成藏控制作用的研究[D]. 北京:中国地质大学(北京),2013:13-20. [Deng Yixun. Study on hydrocarbon generation mechanism and its controlling factor on hydrocarbon accumulation in Baiyinchagan depression, Erlian Basin[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2013: 13-20.]

[6] 余学中,薛春纪,丛丽娟,等. 二连浩特一带境内外构造—成矿带的衔接问题浅析[J]. 地学前缘,2011,18(2):231-241. [Yu Xuezhong, Xue Chunji, Cong Lijuan, et al. A study of the connection of faults and metallogenic belts between Erenhot region, China and South Gobi, Mongolia[J]. Earth Science Frontiers, 2011, 18(2): 231-241.]

[7] Ding X J, Liu G D, Zha M, et al. Geochemical characterization and depositional environment of source rocks of small fault basin in Erlian Basin, northern China[J]. Marine and Petroleum Geology, 2016, 69: 231-240.

[8] 王东东,邵龙义,张强,等. 二连盆地群下白垩统含煤地层聚煤特征分析[J]. 中国矿业大学学报,2013,42(2):257-265. [Wang Dongdong, Shao Longyi, Zhang Qiang, et al. Analysis of coal-accumulating characteristics in the Lower Cretaceous coal-containing strata of the Erlian Basin group[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2013, 42(2): 257-265.]

[9] 赵贤正,降栓奇,淡伟宁,等. 二连盆地阿尔凹陷石油地质特征研究[J]. 岩性油气藏,2010,22(1):12-17. [Zhao Xianzheng, Jiang Shuanqi, Dan Weining, et al. Petroleum geologic characteristics of Artala sag in Erlian Basin[J]. Lithologic Reservoirs, 2010, 22(1): 12-17.]

[10] Safonova L, Seltmann R, Kröner A, et al. A new concept of continental construction in the central Asian Orogenic Belt: compared to actualistic examples from the Western Pacific [J]. Episodes, 2011, 34(3): 186-196.

[11] 黄文辉,万欢,杜刚,等. 内蒙古自治区胜利煤田煤—锆矿床元素地球化学性质研究[J]. 地学前缘,2008,15(4):56-64. [Huang Wenhui, Wan Huan, Du Gang, et al. Research on elemental geochemical characteristics of coal-Ge deposit in Shengli coalfield, Inner Mongolia, China[J]. Earth Science Frontiers, 2008, 15(4): 56-64.]

[12] 朱杰,马延军,唐学民,等. 胜利煤田煤层气储量预测[J]. 中国

- 煤炭地质, 2008, 20(12): 10-11. [Zhu Jie, Ma Yanjun, Tang Xuemin, et al. Shengli coalfield CBM reserve prediction[J]. Coal Geology of China, 2008, 20(12): 10-11.]
- [13] 范国强. 胜利煤田东区井田地质及煤的赋存规律[J]. 科技创业月刊, 2011(4): 162-163. [Fan Guoqiang. Geology and occurrence of coal in Shengli coal field[J]. Pioneering with Science & Technology Monthly, 2011(4): 162-163.]
- [14] Wei S Y, Qin M K, Li Y X, et al. Late Mesozoic-Cenozoic tectono-sedimentary evolution and sandstone-hosted uranium mineralization of the Erlian Basin[M]//Mao J W, Bierlein F P. Mineral deposit research: meeting the global challenge. Berlin Heidelberg: Springer, 2005: 319-322.
- [15] 丁修建, 柳广弟, 查明, 等. 沉积速率与烃源岩有机质丰度关系: 以二连盆地为例[J]. 天然气地球科学, 2015, 26(6): 1076-1085. [Ding Xiujian, Liu Guangdi, Zha Ming, et al. Relationship between sedimentation rate and organic matter abundance of source rocks: A case study of Erlian Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2015, 26(6): 1076-1085.]
- [16] 王建, 王权, 钟雪梅, 等. 二连盆地优质烃源岩发育特征及成藏贡献[J]. 石油实验地质, 2015, 37(5): 641-647. [Wang Jian, Wang Quan, Zhong Xuemei, et al. Characteristics of high-quality hydrocarbon source rocks and their contributions to reservoirs in the Erlian Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2015, 37(5): 641-647.]
- [17] 尹晓贺. 川中地区上三叠统须家河组埋藏史恢复及重点构造气水分布控制因素探讨[D]. 成都: 西南石油大学, 2006. [Yin Xiaohu. Reconstruction of burial history of the Upper Triassic Xujiahe Formation in the middle of Sichuan area and discussion on controlling factors of gas-water distribution in key structure[D]. Chengdu: Southwest Petroleum University, 2006.]
- [18] 尹志胜. 江西省富有机质页岩层系构造埋藏史与页岩气富集[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2015. [Yin Zhisheng. Tectonic and burial history of organic matter rich shale formations and shale gas enrichment in Jiangxi province[D]. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 2015.]
- [19] 李岩, 王云鹏, 赵长毅, 等. 四川盆地上三叠统须家河组烃源岩埋藏史及热演化特征[J]. 地质通报, 2013, 32(11): 1798-1805. [Li Yan, Wang Yunpeng, Zhao Changyi, et al. Burial history and thermal evolution characteristics of source rocks of the Upper Triassic Xujiahe Formation, Sichuan Basin[J]. Geological Bulletin of China, 2013, 32(11): 1798-1805.]
- [20] 刘景东, 蒋有录. 东濮凹陷北部地区古近系烃源岩热演化特征及其主控因素[J]. 中国地质, 2013, 40(2): 498-507. [Liu Jingdong, Jiang Youlu. Thermal evolution characteristics of Paleogene source rocks and their main controlling factors in northern part of Dongpu depression[J]. Geology in China, 2013, 40(2): 498-507.]
- [21] 丁超. 鄂尔多斯盆地东北部热演化史与天然气成藏期次研究[D]. 西安: 西北大学, 2010. [Ding Chao. Thermal evolution and Petroleum-charging times in the northeast area of Ordos Basin[D]. Xi'an: Northwestern University, 2010.]
- [22] 任战利. 中国北方沉积盆地构造热演化史恢复及其对比研究[D]. 西安: 西北大学, 1998. [Ren Zhanli. Comparative research on tectonical thermal history of sedimentary basins in the North China[D]. Xi'an: Northwestern University, 1998.]
- [23] Barker C E, Pawlewicz M J. The correlation of vitrinite reflectance with maximum temperature in Humic organic matter[M]//Buntebarth G, Stegena L. Paleogeothermics. Berlin Heidelberg: Springer, 1986: 79-93.
- [24] Zuo Y H, Wang C C, Tang S L, et al. Mesozoic and Cenozoic thermal history and source rock thermal evolution of the Baiyinchagan sag, Erlian Basin, northern China[J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2016, 139: 171-184.

Burial and Thermal History of Coal-bearing Strata in Shengli Coalfield, Erlian Basin

YU Kun^{1,2}, QU ZhengHui^{1,3}, JU YiWen², XUE ZhiWen^{1,3}

1. School of Resources and Geosciences, China University of Mining and Technology, Xuzhou, Jiangsu 221116, China

2. College of Earth and Planetary Sciences, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

3. Key Laboratory of Coalbed Methane Resources and Reservoir Formation Process of the Ministry of Education, China University of Mining and Technology, Xuzhou, Jiangsu 221008, China

Abstract: According to the stratigraphic lithologic data and thermal physical parameters, we use 50 sets of vitrinite reflectance data, 46 sets of mudstone sonic slowness data and geothermal data of 3 boreholes to reconstruct the burial history, thermal evolution history and hydrocarbon generation history of the Shengli coalfield since Late Cretaceous period. The result shows: 1) The burial characteristics of "the subsidence of the study area was accompanied by uplifting in the early stage and stopped in the late stage" are expressed in the Shengli coalfield. From Aershan period to early Duhongmu period, the study area entered the accelerated rapid subsidence progress, and the first stage of uplifting and erosion occurred at the end of this sedimentary period. The amount of denudation was about 410 m. From late Duhongmu period to Saihantala period, the study area once again entered the rapid subsidence progress, and then it was in the second stage of uplifting, and the denudation amount was about 580 m. Since late deposition of the Saihantala period, the study area was in a slow - ending subsidence period; 2) From Aershan period to early Duhongmu period, the geotemperature of the study area gradually increased. At the end of early Duhongmu period, the geotemperature reached a peak value of about 90 °C, and then entered the first stage of uplifting, the temperature decreased rapidly. In the Saihantala period, the geotemperature increased rapidly and reached the peak of 120 °C at the end of the deposition, in abnormally high temperature state, and then entered the second stage of uplifting, the geotemperature decreased. After that it was in the stable stage in study area; 3) The maturity of source rocks was controlled by paleo geotemperature. The hydrocarbons source rocks of the Aershan Formation and the Tenggeer Formation were in a low to medium maturity stage and had a certain potential for hydrocarbons generation. The Duhongmu Formation and Saihantala Formation should be in immature stage and had almost no hydrocarbon generating potential.

Key words: Erlian Basin; Shengli coalfield; bury; geotemperature; maturity