

文章编号: 0253-9985(2005)01-0109-05

沁水盆地新生代抬升冷却事件的确定

任战利^{1,2}, 肖晖², 刘丽², 张盛², 雷利庆², 秦勇³, 韦重韬³(1. 西北大学大陆动力学教育部重点实验室, 陕西西安 710069; 2. 西北大学地质学系, 陕西西安 710069;
3. 中国矿业大学, 江苏徐州 221008)

摘要: 磷灰石、锆石裂变径迹分析资料表明沁水盆地在 26.2~11.5 Ma 前发生过一次抬升冷却事件, 具有盆地南、北部抬升冷却早, 中部抬升冷却晚的特点, 渐新世—中新世的抬升冷却与青藏高原在新近纪的大规模隆升有关。新生代渐新世—中新世发生大规模抬升冷却, 地层温度降低, 石炭—二叠纪煤系地层生烃过程停止。

关键词: 沁水盆地; 构造热事件; 冷却事件; 裂变径迹

中图分类号: 121.1 **文献标识码:** A

Determination of Cenozoic uplift-cooling event in Qinshui basin

Ren Zhanli^{1,2}, Xiao Hui^{1,2}, Liu Li^{1,2}, Zhang Sheng^{1,2}, Lei Liqing^{1,2}, Qin Yong³, Wei Chongtao³(1. Key Laboratory of Continental Dynamics, Ministry of Education, Northwest University, Xi'an, Shaanxi;
2. Department of Geology, Northwest University, Xi'an, Shaanxi; 3. China University of Mining, Xuzhou, Jiangsu)

Abstract: fission-track analyses of apatite and zircon show that an uplift-cooling event occurred in Qinshui basin 26.2–11.5 Ma ago. It occurred earlier in the northern and southern parts, and later in the central part. Qinshui basin experienced a large uplift-cooling event from Oligocene to Miocene, as a result, the formation temperature decreased and the hydrocarbon generating process in the Permian-Carboniferous coal measure strata ceased.

Key words: Qinshui basin; tectonic thermal event; cooling event; fission track

沁水盆地为山西地块之上一复式向斜构造, 位于东部渤海湾盆地与西部鄂尔多斯盆地之间的过渡带。东部渤海湾盆地与西部鄂尔多斯盆地在盆地类型、构造特征、油气成藏特点等方面有很大的差别。山西地块具有过渡性质, 在沁水盆地地表保存了较完整的中生代地层, 新生代地层沉积较薄。中生代地层未受深埋作用的改造, 保留了中生代盆地演化和地温场的信息, 是研究中生代盆地性质、古地温场及盆地后期演化的理想地区。

沁水盆地煤炭资源丰富, 煤成气资源潜力巨大, 已在晋城地区发现煤成气藏^[1~3], 加强沁水盆地构造演化史研究的意义重大。1995年以来不同学者对沁水盆地进行了研究, 在盆地古地温恢复、构造热事件及现今大地热流值确定等方面取得了

一些新的认识^[4~8], 但对新生代以来盆地演化细节研究较为薄弱。

结合国家煤成气 973 项目, 作者对沁水盆地进行了野外考察, 系统地补充了新的分析测试样品, 在此基础上对沁水盆地中生代构造热事件及新生代以来盆地演化过程进行了详细研究, 在盆地后期抬升冷却时期及过程等方面取得了一些新的认识。

1 热演化

沁水盆地上、古生界石炭—二叠系热演化程度较高, 镜质体反射率(R_o) 平面上表现为东西两侧边缘低, 中部高, 南北两端高, 南端最高的特点。盆地北端 R_o 为 2.0%~3.0%, 大部分地区大于

基金项目: 国家 973 计划项目“中国煤成气成藏机制及经济开采基础研究”(2002CB211704) 和“多种能源矿产共存成藏(矿)机理与富集分布规律”(2003CB214605)

第一作者简介: 任战利, 男, 43 岁, 教授(博导), 石油地质与勘探
收稿日期: 2005-01-07

2.5%; 中部地区 R_o 为 2.0%~2.5%; 盆地边缘 R_o 一般为 1.3%~1.5%; 盆地南端 R_o 为 3.0%~4.0%, 晋城、翼城一带热演化程度最高。

沁水盆地二叠系山西组煤层现今埋深一般为 400~1 200 m, 在沁县、榆社一带埋藏最深, 可达 1 100~1 200 m。沁水盆地石炭—二叠纪煤系地层现今埋藏浅, 构造演化史研究表明, 沁水盆地未沉积早侏罗世地层, 中侏罗世地层仅在榆社牌坊剖面有残留, 残留厚度大于 277 m, 不整合覆盖在晚三叠世地层之上。中侏罗世之后到白垩纪之前沁水盆地处于强挤压应力场中, 构造运动强烈, 形成向斜构造盆地。在盆地晋城东掩村可看到奥陶纪地层挤压强烈, 地层直立, 形成挤压背斜构造。该挤压背斜构造就是在此次构造运动形成的。中侏罗世之后盆地整体抬升, 遭受剥蚀。

2 晚期构造

二叠系山西组煤层埋藏史恢复表明, 二叠系山西组煤层最大埋深一般不会超过 4 000 m, 按正常地温梯度每百米 3.0℃计算, 山西组煤层经历的最大古地温不会超过 135℃, R_o 值不会超过 1.5%。而现今盆地主体部位山西组煤层 R_o 值可达 2.5%。沁水盆地石炭—二叠系煤层热演化程度高, 主要受中生代晚期异常地温场控制。

沁水盆地现今地温梯度为每百米 2.8℃, 恢复的古地温梯度每百米可达 5.56℃, 甚至更高^[5~7,9], 如此高的地温梯度反映该盆地存在异常

地温场。根据构造变动、岩浆活动、古地温恢复、埋藏史等证明, 沁水盆地在中生代晚期约 110~140 Ma 发生过一次构造热事件, 主峰年龄相当于早白垩世^[5,6,8]。

沁水盆地中生代发生的构造热事件不是孤立的, 具有区域性^[8]。此次构造热事件与华北地区中生代构造热事件发生时间(晚侏罗世—早白垩世)一致^[8], 此外, 构造热事件发生时间与华北地块岩浆最活跃时期及大规模金矿成矿时期基本一致^[10~12]。其地球动力学背景是碰撞造山过程的挤压—伸展转变期, 岩石圈深部热活动加剧。燕山晚期沁水盆地深部地幔热活跃, 地幔上涌, 形成异常地温场, 地热背景值高是形成石炭—二叠系煤层热演化程度高的主要原因。在异常地温场背景的基础上, 深成变质作用和区域岩浆热变质作用造成了沁水煤田石炭—二叠系煤层变质程度的分带性及差异性。深成变质作用是影响沁水煤田现今分带的主导因素, 深部岩浆活动是沁水盆地南、北两端高变质带形成的重要因素。深部热液活动在奥陶系顶面活动性强, 使靠近奥陶系的石炭—二叠系煤层热演化程度提高^[5]。

3 裂变径迹分析

有关沁水盆地演化的研究, 中生代及以前的研究程度较高, 新生代以来的研究程度较低。作者在沁水盆地不同部位进行了系统的取样, 应用磷灰石、锆石裂变径迹分析方法对样品进行了分析(表 1, 2)。

表 1 沁水盆地磷灰石裂变径迹分析结果
Table 1 Results of apatite fission track analyses in Qinshui basin

样号	采样地点	层位	颗粒数/个	$\rho_s/(10^5 \cdot \text{cm}^{-2})$ (N_s)	$\rho_i/(10^5 \cdot \text{cm}^{-2})$ (N_i)	γ_{Si}	$P(B^2)/\%$	裂变径迹年龄/ Ma(±1σ)	裂变径迹长度/ μm(N)
QC-Y-2	窑子头	二马营	24	2.511 (345)	18.942 (2 603)	0.94	70.0	20.8±1.3	12.7±1.7(100)
XL-1	昔阳南峪煤矿	山西组	30	1.264 (204)	7.811 (1 261)	0.96	99.8	26.2±2.1	12.6±1.9(56)
FZ001-L1	阳城樊庄 FZ001 井	太原组	27	0.941 (170)	8.840 (1 597)	0.80	81.0	16.5±1.4	12.6±1.8(95)
QL-1	沁源县	石盒子组	11	1.047 (76)	9.977 (724)	0.82	13.4	16.7±2.1	12.6±1.8(77)
JL-1	阳城潘 1 井	石盒子组	25	2.616 (255)	16.786 (1 636)	0.93	0.8	25.5±1.8	12.3±1.8(53)
JL-2	阳城成庄煤矿	山西组	27	1.004 (210)	8.019 (1 677)	0.93	22.9	19.8±1.5	12.3±1.9(114)

注: ρ_s 为自发径迹密度; N_s 为自发径迹数; ρ_i 为诱发径迹密度; N_i 为诱发径迹数; γ_{Si} 为相关系数; $P(B^2)$ 为 B^2 检验的几率; N 为统计的个数

表 2 沁水盆地锆石裂变径迹分析结果

Table 2 Results of zircon fission track analyses in Qinshui basin

样号	采样地点	层位	颗粒数/个	$\rho_s / (10^5 \cdot \text{cm}^{-2})$ (N_s)	$\rho_i / (10^5 \cdot \text{cm}^{-2})$ (N_i)	χ_{Si}	$\rho_d (10^5 \cdot \text{cm}^{-1})$ (N_i)	$P / \%$	裂变径迹年龄/Ma
QC-Y-2	窑子头	二马营组	11	100.571 (757)	25.774 (194)	0.51	3.422 (3463)	6.1	102.6 ± 11.8
XL-1	昔阳南峪煤矿	山西组	9	82.104 (927)	13.463 (152)	0.16	3.422 (3463)	0	169.6 ± 31.4
FZ001-L1	樊庄 FZ001 井	太原组	13	91.859 (1046)	11.504 (131)	0.33	3.422 (3463)	0.1	212.0 ± 34.1
QL-1	沁源县	石河子组	12	114.373 (894)	12.793 (100)	0.24	3.422 (3463)	0.1	221.1 ± 39.6
JL-1	阳城潘 1 井附近	上石河子组	13	127.633 (1712)	17.967 (241)	0.70	3.422 (3463)	0	182.9 ± 26.7
JL-2	阳城成庄煤矿	山西组	12	117.758 (1250)	18.088 (192)	0.36	3.422 (3463)	0	174.4 ± 30.1

注: ρ_s 为自发径迹密度; N_s 为自发径迹数; ρ_i 为诱发径迹密度; N_i 为诱发径迹数; χ_{Si} 为相关系数; ρ_d 为标准铀玻璃诱发径迹密度; P 为 χ^2 检验的几率

在盆地热演化史分析中, 裂变径迹分析法的应用原理是磷灰石中所含的 ^{238}U 裂变时产生的碎片在磷灰石中会形成裂变径迹, 矿物中的径迹具有随温度的增高, 径迹密度减少、长度变短直至完全消失的特性。

Naeser^[13]划分了在连续沉积, 且目前正处在最大埋藏地温状况下磷灰石裂变径迹年龄-深度(或温度)上 3 个不同的带, 从浅到深依次为: 未退火带; ④部分退火带; ④完全退火带。在 1~ 100 Ma 的时间内, 磷灰石裂变径迹的退火温度大约为 60~ 150 °C。如果地层在达到最大埋藏温度后, 由于抬升剥蚀或地温梯度的减小而冷却下来, 磷灰石裂变径迹年龄-深度(温度)图上会出现 5 个带。从上到下依次是: 未退火带; ④部分退火带; ④前完全退火带, 也称为冷却带, 该带为冷却后又新生出新的裂变径迹, 该带的年龄、年龄-深度曲线的斜率和该带地层厚度可以确定冷却事件发生的时间、速率和地层抬升剥蚀方面的信息; ④部分退火带; ④完全退火带^[14]。

沁水盆地属于后期抬升型盆地, 上古生界石炭-二叠系热演化程度较高, 镜质体反射率在盆地大部分地区大于 2.0%, 磷灰石裂变径迹在中生代晚期已完全退火, 现今磷灰石裂变径迹资料记录的是中生代构造热事件以后的地温场及冷却信息。因此, 应用磷灰石裂变径迹资料可分析盆地后期抬升冷却年龄及过程, 分析的关键的是前完全退火带或冷却带的解释和确定。

4 抬升冷却事件

作者应用磷灰石裂变径迹分析方法确定了沁水盆地沁参 1 井约 11.5~ 18.7 Ma 前发生的一期冷却事件^[6]。沁水盆地沁参 1 井的磷灰石裂变径迹年龄值集中在 11.5~ 18.7 Ma, 远小于地层年龄, 显示出冷却带的特征。但由于测试样品较少, 分析结果仅限于沁源的沁参 1 井, 无法准确获得冷却事件的时间及在平面上的变化规律。这次作者在沁水盆地不同部位进行了系统的取样, 应用磷灰石、锆石裂变径迹分析方法对样品进行了系统的分析, 取得了新的结果及一些规律性的认识。

根据沁水盆地新的磷灰石、锆石裂变径迹分析结果(表 1, 2), 可以看出沁水盆地所分析样品磷灰石裂变径迹年龄均在 16.5~ 26.2 Ma, 远小于地层年龄, 锆石裂变径迹年龄在 102.6~ 221.1 Ma, 也小于地层年龄, 表明锆石已发生退火作用。锆石退火表明地层经历的古地温高于 200 °C^[15~ 17], 与石炭-二叠系热演化程度高结论一致, 说明地层已进入了冷却带。因此, 样品的磷灰石裂变径迹年龄代表了地层抬升的冷却年龄, 沁水盆地地层记录的抬升冷却年龄为 16.5~ 26.2 Ma。

沁水盆地冷却年龄具有南、北两端早, 中间晚的特点, 从盆地北部昔阳的 26.2 Ma, 到盆地中部沁参 1 井、沁源地区的 11.5~ 16.7 Ma, 盆地南部晋城地区升高到 16.5~ 25.5 Ma(图 1)。冷却年龄表明盆地南、北两端抬升早, 盆地中部抬升晚。

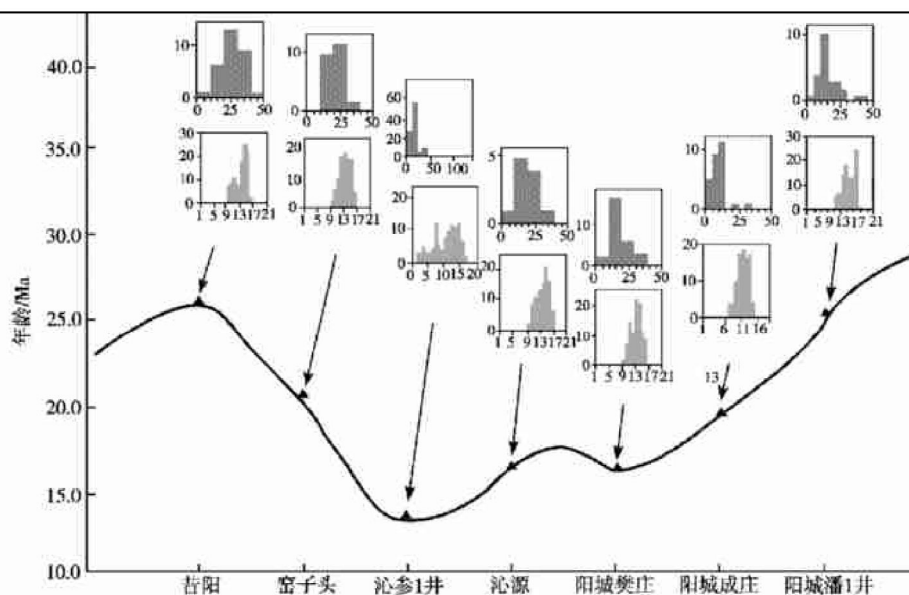


图1 沁水盆地不同部位裂变径迹冷却年龄与长度分布对比图

Fig. 1 Comparison diagram of fission track ages and distributions in different parts of Qinshui basin

沁水盆地磷灰石裂变径迹长度频率分布图基本特征为长径迹多,主峰右偏的偏斜分布,表明为冷却过程,如阳城樊庄及阳城成庄煤矿。沁水盆地所有的冷却年龄数据集中在 11.5~26.2 Ma,记录的最老冷却年龄为 26.2 Ma,说明沁水盆地在渐新世-中新世以来,发生了大规模的隆升,地层遭受剥蚀。

抬升剥蚀在地层纪录上的表现是在沁水盆地未沉积古近纪及新近纪中新世地层,在盆地中部沁源沁参1井第四系原平组直接覆盖在下三叠统刘家沟组之上,在盆地南北两端三叠纪地层已剥蚀殆尽就是例证。

根据沁水盆地冷却带位置在地表附近及镜质体反射率与深度关系判定,晚新生代以来沁水盆地的隆升剥蚀量至少在 3 km 以上。

沁水盆地窑子头样品磷灰石裂变径迹年龄为 20.8 Ma,锆石裂变径迹年龄为 102.6 Ma,以上两年龄检验的几率大于 5%,表明为同一年龄组。锆石裂变径迹退火温度以 250 °C 计算,磷灰石裂变径迹完全退火温度以 125 °C 计算,则沁水盆地窑子头样品冷却速率为 1.52 °C/Ma。

沁水盆地在中生代晚期约 110~140 Ma 发生过一次构造热事件^[5-8,17-19],地层达到最大古地温,煤成气大量生成。新生代以来盆地整体抬升,地层降温,煤系地层生烃过程停止。

沁水盆地晚新生代隆升-剥蚀事件与鄂尔多

斯高原晚新生代隆升-剥蚀事件具有区域可比性^[8]。晚渐新世一早中新世鄂尔多斯周围地区的渭河、河套、银川盆地强烈断陷,鄂尔多斯高原快速隆升。晚中新世以来山西地堑系的强烈断陷,与山西地堑系相邻的沁水盆地在新近纪快速隆升。

沁水盆地新近纪隆升-剥蚀事件与喜山晚期印度板块的向北推挤,青藏高原大幅隆升有关,青藏高原大幅隆升推挤作用使鄂尔多斯盆地、沁水盆地在新近纪快速隆升^[20]。

参 考 文 献

- 1 赵庆波. 煤成气地质与勘探技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 1999
- 2 利文阳, 马新华, 赵庆波, 等. 中国煤成气地质评价与勘探技术新进展[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2001
- 3 张建博, 王红岩. 沁水煤成气有利区预测[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2001
- 4 秦勇, 宋党育. 山西南部煤化作用及其古地热系统[M]. 北京: 地质出版社, 1998
- 5 任战利, 赵重远. 鄂尔多斯盆地与沁水盆地中生代晚期地温场对比研究[J]. 沉积学报, 1997, 15(2): 134~137
Ren Zhanli, Zhao Zhongyuan. Late Mesozoic comparative research on the geothermal field Ordos basin and Qinshui basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1997, 15(2): 134~137
- 6 任战利, 赵重远, 陈刚, 等. 沁水盆地中生代晚期构造热事件[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(1): 46~48
Ren Zhanli, Zhao Zhongyuan, Chen Gang, et al. Tectonical thermal events of late Mesozoic in Qinshui basin[J]. Oil & Gas Geology,

- 1999, 20(1): 46–48
- 7 Ren Zhanli, Wang Shicheng, Zhao Zhongyuan. Determination of palaeotemperature and palaeogeothermal gradient in Qinshui basin[J]. Progress in Natural Science, 2000, 10(4): 232–238
 - 8 任战利. 中国北方沉积盆地构造热演化史研究[M]. 北京: 石油工业出版社, 1999
 - 9 任战利. 沁水盆地沁参1井大地热流值确定[J]. 地质科学, 1998, 32(2): 251–254
Ren Zhanli. Determination of the geothermal heat flow of well Qincan No. 1 in Qinshui basin[J]. Chinese Journal of Geology, 1998, 32(2): 251–254
 - 10 陈衍景, 郭光军, 李欣. 华北克拉通花岗绿岩体中生代金矿床的成矿地球动力学背景[J]. 中国科学(D辑), 1998, 28(1): 35–40
Chen Yanjing, Guo Guangjun, Li Xin. Geodynamic background of Mesozoic golden ore formation in granitic-greenstone terrain on North China craton[J]. Science in China(series D), 1998, 28(1): 35–40
 - 11 毛景文, 张作衡, 余金杰, 等. 华北及邻区中生代大规模成矿的地球动力学背景: 从金属矿床年龄精测得到的启示[J]. 中国科学(D辑), 2003, 33(4): 289–299
Mao Jingwen, Zhang Zuoheng, Yu Jinjie, et al. Geodynamic background of broad ore formation in scale on Mesozoic in North China and adjacent region: guidance from accurate measurements of metallic ores ages[J]. Science in China(series D), 2003, 33(4): 289–299
 - 12 罗照华, 邓晋福, 李王文, 等. 太行山构造岩浆带 K-Ar 法同位素年龄分析[J]. 现代地质, 1996, 10(3): 344–349
Luo Zhaohua, Deng Jinfu, Li Yuwen, et al. Interpretation of K-Ar ages of Taihang tectonomagmatic belt[J]. Geoscience, 1996, 10(3): 344–349
 - 13 Naeser N D, Naeser C W, McCullon T H. The application of fission track dating to the depositional and thermal history of rock in sedimentary basins[A]. In: Naeser N D, McCullon T H. Thermal history of sedimentary basins: methods and case history[C]. Beijing: Springer-Verlag, 1989. 157–180
 - 14 Fitzgerald P G, Gleadow A J W. Fission track geochronology, tectonics and structure of the Transantarctic mountains in Northern Victoria Land[J]. Antarctica Chem Geol, 1988, 73: 169–198
 - 15 Brandon M T, Vance J A. Fission track ages of detrital zircons: implications for the tectonic evolution of the Cenozoic Olympic subduction complex[J]. Am J Sci, 1992, 292: 565–636
 - 16 Hurford A J. Cooling and uplift patterns in the Lepontine Alps, south central Switzerland, and an age of vertical movement on the Insubric fault line[J]. J Contrib Min Petrol, 1986, 92: 413–427
 - 17 任战利, 赵重远. 中生代晚期中国北方沉积盆地古地热梯度及对比[J]. 石油勘探与开发, 2001, 28(6): 1–4
Ren Zhanli, Zhao Zhongyuan. Palaeogeothermal gradient and comparison of sedimentary basins on Mesozoic in the north China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2001, 28(6): 1–4
 - 18 任战利. 中国北方沉积盆地热演化史的对比[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(1): 33–37
Ren Zhanli. Comparison of thermal evolution history in sedimentary basins in the north China[J]. Oil & Gas Geology, 2000, 21(1): 33–37
 - 19 刘池洋, 赵重远, 杨新科, 等. 活动性强、深部作用活跃——中国沉积盆地的两个重要特点[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(1): 1–6
Liu Chiyang, Zhao Zhongyuan, Yang Xingke, et al. Strong activity and active deep action: two important features of Chinese sedimentary basins[J]. Oil & Gas Geology, 2000, 21(1): 1–2
 - 20 李吉钧, 文世宣, 张青松, 等. 青藏高原隆生的时代、幅度和形式的探讨[J]. 中国科学(D辑), 1979, 9(6): 608–616
Li Jijun, Wen Shixuan, Qingsong, et al. Explorations on times, scopes and forms of Qinghai-Xizang plateau uplift[J]. Science in China(series D), 1979, 9(6): 608–616
-
- (上接第103页)
- 5 王寿庆. 扇三角洲模式[M]. 北京: 石油工业出版社, 1993
 - 6 夏长淮, 张春生, 周海彬, 等. 濮阳凹陷白庙气田沙河街组三段下亚段扇三角洲沉积模拟研究[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(3): 218–223
Xia Changhuai, Zhang Chunsheng, Zhou Haibin, et al. Study on sedimentary simulation of fan delta in lower submember E_{3s} of Baimiao gasfield in Puyang depression[J]. Oil & Gas Geology, 2002, 23(3): 218–223
 - 7 杨剑萍, 赵卫卫, 姜在兴. 沾化凹陷孤北油田古近系沙三段扇三角洲沉积特征及油气储层意义[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(2): 157–161
Yang Jianping, Zhao Weiwei, Jiang Zaixing. Sedimentary characteristic and reservoir significance of Eocene E_{3s} fan delta in Gubei oilfield [J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24(2): 157–161
 - 8 李文厚, 赵文智. 酒东盆地营尔凹陷的扇三角洲[J]. 石油与天然气地质, 1997, 18(4): 300–304
Li Wenhou, Zhao Wenzhi. Fan delta in Ying'er sag, Jiudong basin [J]. Oil & Gas Geology, 1997, 18(4): 300–304
 - 9 刘宝琛. 沉积岩石学[M]. 北京: 地质出版社, 1980
 - 10 钱宁, 张仁. 河床演变学[M]. 北京: 科学出版社, 1987
 - 11 何义中, 陈洪德, 张锦泉. 鄂尔多斯盆地中部石炭-二叠系两类三角洲沉积机理探讨[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(1): 68–71
He Yizhong, Chen Hongde, Zhang Jinquan. Discussion on sedimentation mechanism of two kind deltas from Permian-Carboniferous of central Ordos basin[J]. Oil & Gas Geology, 2001, 22(1): 68–71