

准噶尔盆地腹部侏罗系顶部红层成岩作用 过程中蕴藏的车莫古隆起演化信息

焦养泉, 吴立群, 陆永潮, 任建业

中国地质大学资源学院, 湖北武汉 430074

摘要: 准噶尔盆地腹部车莫古隆起演化过程研究直接关系到油气勘探部署, 最新通过对 K/J 不整合界面之下红层的研究发现成岩作用可以为车莫古隆起演化历史提供一些可靠信息, 研究认为红层系赤铁矿化所致, 非同沉积期的产物, 其形成机理类似于砂岩型铀矿形成过程中的潜水氧化和层间氧化作用模式. 研究区的红层曾经历了初始压实作用、淋滤作用(赤铁矿化, 或称褐色蚀变, 导致红层形成)、白云石化钙质胶结作用、硅质胶结作用、方解石化钙质胶结作用、再次压实作用(压裂)和绿泥石化胶结作用的演化过程. 成岩作用的有序演化记录了车莫古隆起的演化历史, 初始压实作用预示着侏罗系连续沉积并一度被深埋, 车莫古隆起隆升速率小于盆地沉降速率; 随之而来的褐色蚀变预示着车莫古隆起大幅度抬升, 侏罗系被剥蚀出露地表并遭受了全面的潜水氧化和层间氧化作用; 再次压实作用和大规模胶结作用预示着侏罗系被再次深埋, 这是准噶尔盆地白垩系和新生界充填的结果. 由此可见, 成岩作用蕴藏了丰富的盆地构造演化历史信息, 成岩作用是盆地构造作用的响应.

关键词: 侏罗系; 红层; 成岩作用; 车莫古隆起; 准噶尔盆地.

中图分类号: P588.2

文章编号: 1000-2383(2008)02-0219-08

收稿日期: 2007-06-12

Evolution of the Chepaizi-Mosuowan Paleo-Uplift, Junggar Basin, China: Evidence from Diagenesis of Late Jurassic Red Beds

JIAO Yang-quan, WU Li-qun, LU Yong-chao, REN Jian-ye

Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

Abstract: Exploration of oil and gas in the central part of Junggar basin has shed light on the evolution of the Chepaizi-Mosuowan paleo-uplift, and the study of red beds beneath the unconformity between Jurassic and Cretaceous indicates that the processes of diagenesis provides information about the evolutionary history of the uplift. It is found that the red beds did not form by syn-sedimentary rubification but by diagenetic hematitization which can be explained by models of phreatic oxidation and interlayer oxidation occurring during the development of sandstone hosted uranium deposits. They underwent processes of initial compaction, eluviation (hematitization or brown alteration forming red beds), cementation by dolomite, calcite and/or silica, secondary compaction and deep diagenetic cementation by chlorite. The order of diagenetic events documents the evolutionary history of the Chepaizi-Mosuowan paleo-uplift. Initial compaction indicates that there was continuous deposition in the Jurassic, because the burial was deep and the uplift velocity of the uplift was less than the subsidence velocity of the Junggar Basin. Later eluviation indicates that uplift rates exceeded those of subsidence and Jurassic beds were exposed at the surface where they underwent general phreatic oxidation and interlayer oxidation. Subsequent secondary compaction accompanied by massive cementation indicates that the Jurassic red beds were once again deeply buried as the result of Cretaceous and Cenozoic basin filling. This sequence of diagenetic events thus documents the history of tectonism in the central part of the Junggar basin structure.

Key words: Jurassic; red bed; diagenesis; Chepaizi-Mosuowan paleo-uplift; Junggar basin.

基金项目: 国家自然科学基金项目(No. 40772072); 国家重点基础研究发展计划项目(973 计划-2006CB202302); 中石化西部新区勘探指挥部会战项目.

作者简介: 焦养泉(1963-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事沉积盆地与能源矿产研究. E-mail: yqjiao@cug.edu.cn

成岩作用研究的目的主要在于揭示沉积物的成岩历史(刘宝珺和张锦泉,1992;焦养泉等,2000),但是笔者的最新研究发现成岩作用过程还可以记录沉积盆地的构造演化历史信息,成岩作用是对盆地构造作用的一种具体响应。

研究区位于准噶尔盆地腹地,在车莫古隆起一带白垩系与侏罗系呈角度不整合,侏罗系严重缺失(何登发等,2005;朱允辉和孟闲龙,2005;吴晓智等,2006;赵宏亮,2006)(图 1)。对于地层缺失人们有两种不同的认识,一种观点认为系后期剥蚀成因(谢寅符等,2006;贾庆素等,2007;周路等,2007),而另一种认为系同沉积缺失。这两种截然不同的认识对于准噶尔盆地腹部的油气勘探具有不同的意义,于是笔者从成岩作用角度对其进行了系统探索。研究过程中笔者发现,发育于 K/J 不整合界面以下的一套红色地层(简称红层)的成岩信息是解释地层缺失现象和成因的关键钥匙,也就是说红层的成岩作用不仅记录了沉积物的成岩历史,而且也记录了盆地的构造演化历史。

1 红层及其岩石矿物学特征

在车莫古隆起一带,红层普遍发育于 K/J 不整合界面以下的侏罗系顶部,其最大的特征是具有穿时性质。红层厚度不等,但变化不大,平均 30.5 m

(图 1)。无论是红层中泥岩还是砂岩,岩矿鉴定认为红色系褐色矿物成因。褐色矿物主要发育于粒间孔隙中,呈现粒状集合体,单体粒径为 1~5 μm,平均 2 μm。在单偏光和正交偏光下均显示为褐色,但当粒状矿物富集时就变得不透明,它们是赤铁矿(图 2a,2b)。

在红层下伏的灰色砂岩中发现了一系列的过蚀迹象,如砂岩中的褐色斑点、泥砾的褐色环带镶边、沿纹层或裂隙发育的褐色条带等等,镜下鉴定发现它们与红层具有相同的成因,即赤铁矿化所致。

2 红层成岩作用类型与成岩序列

系统的成岩作用研究发现,红层的成岩作用类型繁多且复杂,但具有明显的有序性。

2.1 成岩作用类型

车莫古隆起 K/J 界面下红层的成岩作用主要包含压实作用、胶结作用(钙质+硅质+泥质)和淋滤作用等。

(1)压实作用。研究区的压实作用具有两种性质不同的表现形式:第 1 种表现为碎屑颗粒的紧密堆积,如多数颗粒的点接触、少量颗粒的线接触和极少量颗粒的嵌入或碎裂结构(图 2c)。这种压实作用被笔者命名为初始压实作用,即第一次压实作用。第 2 种压实作用表现为岩石固结后的碎裂作用,裂隙不

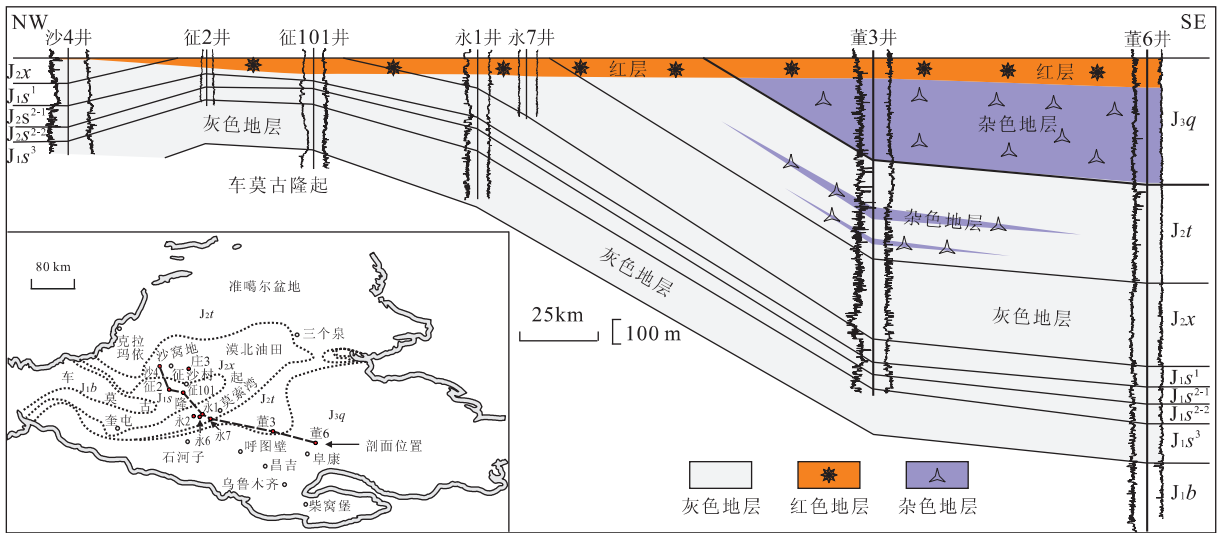


图 1 准噶尔盆地前白垩纪地质图及跨越车莫古隆起的 NW-SE 向地层剖面(注意不整合界面下规则发育的红色)

Fig. 1 Pre-Cretaceous paleogeological map and NW-SE stratigraphic correlation across the Chepaizi-Mosuowan paleo-uplift, Junggar basin. Note red beds under the unconformity surface

J_{1b}. 八道湾组; J_{1s}. 三工河组; J_{2x}. 西山窑组; J_{2t}. 头屯河组; J_{3q}. 齐古组。钻孔左侧为伽马测井曲线, 右侧为视电阻率测井曲线

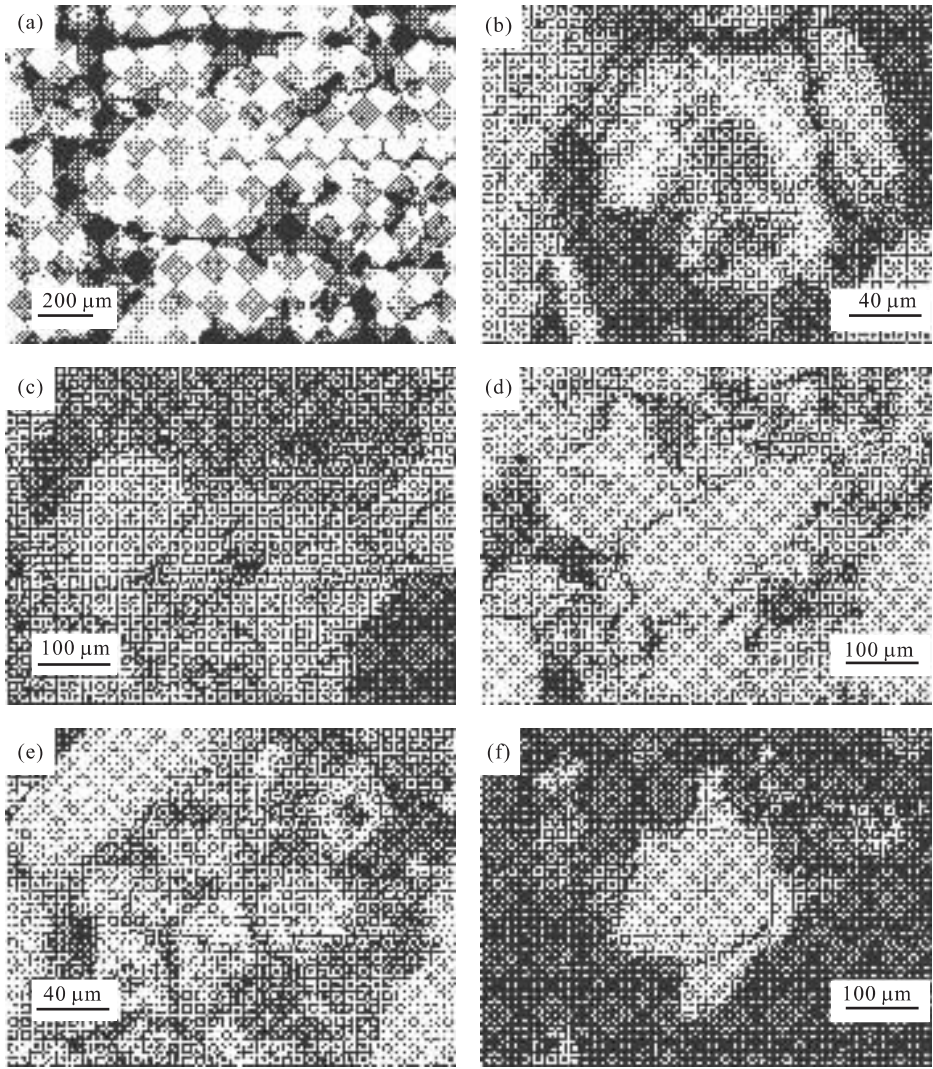


图 2 研究区红层的典型成岩作用

Fig. 2 Diagenesis of red beds in study area

a. 孔隙中发育的褐色赤铁矿,单偏光,永 2 井,5 997.5 m; b. 褐色粒状赤铁矿,正交偏光,永 6 井,6 043 m; c. 局部嵌入压实作用,单偏光,永 2 井,5 999 m; d. 沿矿物边缘和节理发育的赤铁矿浸染现象,单偏光,永 2 井,6 002.4 m; e. 包裹少量赤铁矿的白云石化钙质胶结作用,单偏光,永 6 井,6 040.65 m; f. 石英自生加大的硅质胶结作用,正交偏光,永 2 井,6 002.4 m

仅可以贯穿碎屑颗粒,而且可以贯穿胶结物,甚至可以贯穿 2~3 个碎屑颗粒. 这显示了一种更高成岩程度的压实过程,也许与构造作用有关,笔者将其命名为再次压实作用.

(2) 淋滤作用. 淋滤作用主要表现为赤铁矿化作用、黑云母蚀变作用和长石蚀变作用,但以赤铁矿化作用最为显著和普遍. 赤铁矿化作用主要发育于红色泥岩和砂岩的孔隙中(图 1),通常对碎屑颗粒的边缘形成褐色浸染(图 2d),从而导致岩石呈现红色. 一些赤铁矿化作用也可以发育于碎屑颗粒的裂隙、节理或者缺陷中,还有少量发育于碎屑颗粒内部的溶蚀孔隙中(图 2d). 由于赤铁矿化作用在红色岩

石中最为显著和普遍,所以笔者称之为褐色蚀变.

在红色岩石中,完整的黑云母少见,多数被蚀变. 一些黑云母蚀变后有褐色粒状赤铁矿晶体析出,这显示了黑云母与褐色蚀变具有某种亲缘性. 长石蚀变主要表现在沿矿物解理具有明显蚀变,蚀变矿物表面脏且凹凸不平.

统计发现,自 K/J 不整合面向下,随着红色岩石的减少,赤铁矿化作用降低,而黑云母含量逐渐增加且完整性变好(图 3). 这反映了淋滤作用的逐渐减弱趋势.

(3) 胶结作用. 研究区的胶结作用主要表现为钙质胶结作用、硅质胶结作用和泥质胶结作用 3 种类

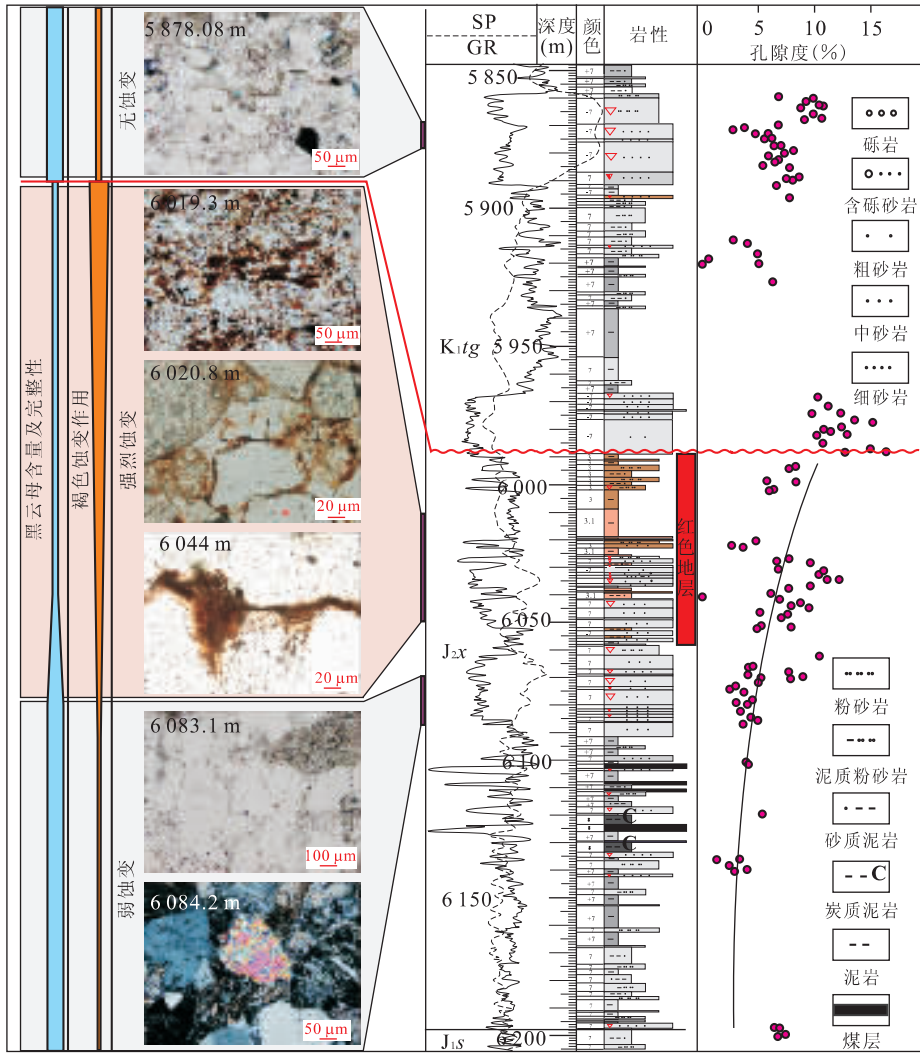


图 3 永 6 井不整合界面下伏红层中淋滤作用的垂向变化趋势及其孔隙度异常图(孔隙度资料据中国石化石油勘探开发研究院西部分院,2005)

Fig. 3 Vertical variation trends of eluviation and anomalous porosity figures of red beds under the unconformity surface, Well Yong 6

型。钙质胶结作用具有两种不同的表现形式：第 1 种钙质胶结作用的最大特色是胶结物为白云石，规模小，并混杂有少量褐色蚀变物(图 2e)，显示其与褐色蚀变具有一定联系。第 2 种钙质胶结作用的特色在于胶结物为方解石，规模大，且未受褐色蚀变影响。这反映了红层经历了两次不同的钙质胶结事件，笔者将前者命名为白云石化钙质胶结作用，将后者命名为方解石化钙质胶结作用。

研究区的硅质胶结作用主要表现为石英的次生加大，而且较为发育(图 2f)。泥质胶结作用以绿泥石充填裂隙为特征，绿泥石胶结作用发育程度有限。

2.2 成岩序列

研究区成岩事件具有清晰的序次。大规模的褐

色蚀变作用发育于初始压实之后，主要依据在于碎屑颗粒的点接触或者线接触处缺少赤铁矿，褐色蚀变作用更多地发育于粒间孔隙中(图 4a, 4b)。这说明褐色蚀变并不是同沉积期的产物。

如图 4c, 4d 所示，钙质和硅质胶结作用显然发育于褐色蚀变之后，而且白云石化钙质胶结作用早于硅质胶结。方解石化钙质胶结作用晚于硅质胶结(图 4d)。

再次压实作用可以贯穿硅质和钙质胶结物(图 4e, 4f)，说明其发育晚于硅质和钙质胶结作用。

绿泥石化胶结作用以充填裂隙为特色(图 4f)，说明其形成于再次压实之后。

由此可见，研究区的成岩序列依次是：初始压实

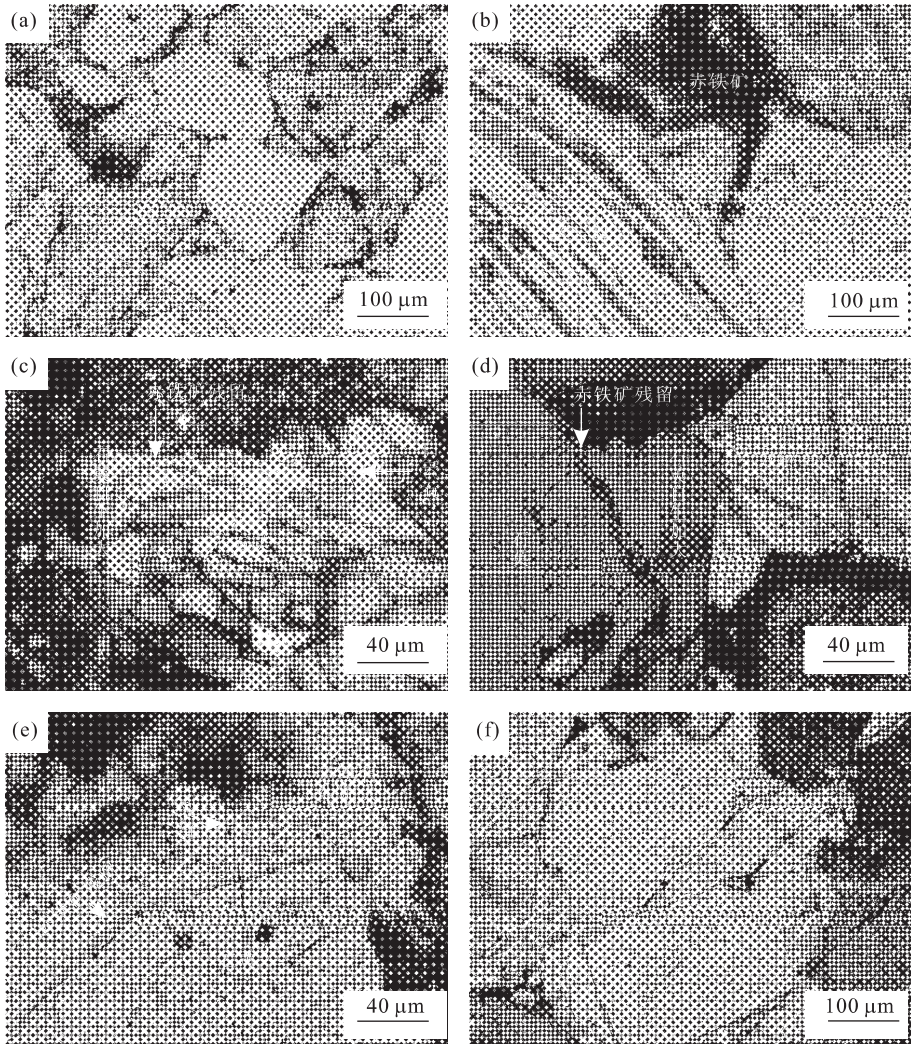


图 4 研究区红层成岩作用序列

Fig. 4 Diagenetic sequence in red beds

a. 碎屑颗粒点接触处缺少赤铁矿,显示褐色蚀变晚于初始压实作用,单偏光,永 2 井,6 002.4 m; b. 黑云母挤压褶皱后赤铁矿充填粒间孔隙,显示褐色蚀变晚于初始压实作用,单偏光,永 6 井,6 048.34 m; c. 石英自生加大边中残留赤铁矿,随后依次发生白云石化胶结作用和硅质胶结作用,正交偏光,永 2 井,5 999 m; d. 石英自生加大边中残留赤铁矿,随后依次发生硅质胶结作用和方解石化胶结作用,正交偏光,永 6 井,6 048.34 m; e. 再次压实作用形成的裂隙贯穿石英碎屑和次生加大边(加大边中残留有赤铁矿),单偏光,永 2 井,5 999.5 m; f. 再次压实作用形成的裂隙被绿泥石化胶结作用充填,单偏光,永 6 井,6 035.55 m

作用→淋滤作用(赤铁矿化—褐色蚀变)→白云石化钙质胶结作用→硅质胶结作用→方解石化钙质胶结作用→再次压实作用(压裂)→绿泥石化胶结作用。

3 红层成因机理及其蕴藏的盆地构造演化历史信息

(1)红层成因机理与模式总结:红层是沉积盆地中普遍发育的地层单位,但成因极为复杂,既可以是干旱环境的沉积产物(朱立军和李景阳,2001;彭华和

吴志才,2003),也可以是成岩作用尤其是淋滤风化作用的产物。从事砂岩型铀矿研究的地质学家则更关注潜水氧化和层间氧化作用形成的褐色蚀变(Franz, 1993; CNNC, 2002; 焦养泉等,2006a),研究区的红层可能是潜水氧化和层间氧化共同作用的结果。在研究区,地层学和矿物学的综合研究证实了上述猜想。

矿物学研究证实研究区的红层系褐色蚀变成因,而导致红层发育的赤铁矿化作用发生于初始压实作用之后,以及大规模的胶结作用和再次压实作用之前。这说明褐色蚀变发生时期侏罗系曾一度被

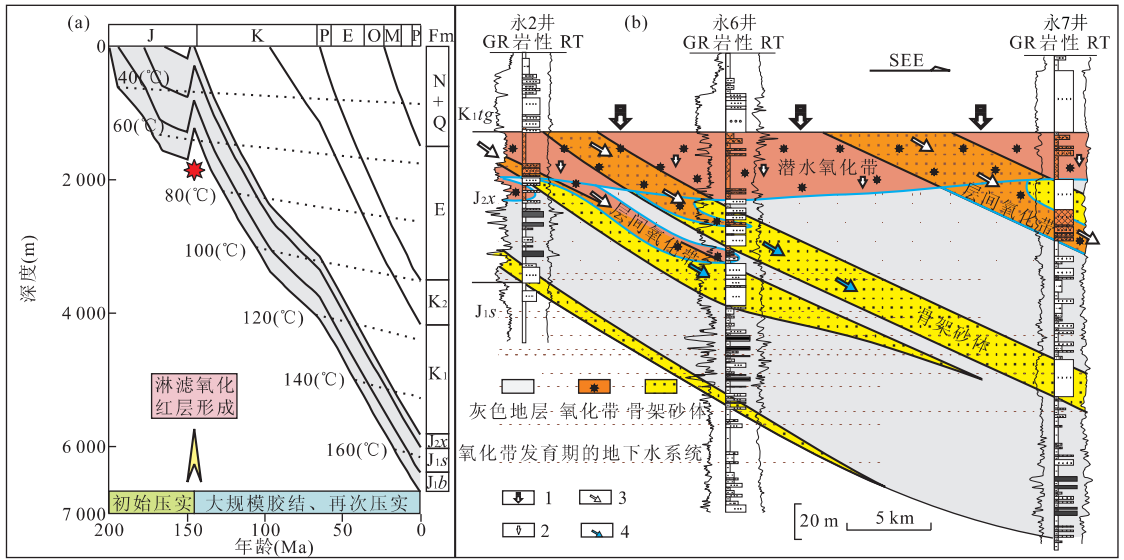


图 5 准噶尔盆地腹部 K/J 不整合界面下红层发育过程与发育原理图

Fig. 5 Development process and development theory of red beds under the K/J unconformity, central part of Junggar basin (a) 永 1 井埋藏历史与成岩过程 (埋藏史图据尹伟, 2005. 准噶尔盆地中部油气成藏条件及富集规律研究); (b) 永 2 井—永 7 井剖面图, 注意潜水氧化作用和骨架砂体内部的层间氧化作用; 1. 地表水下渗; 2. 水流量富氧水体运移; 3. 大流量富氧水体运移; 4. 贫氧水体运移

抬升至地表, 剥蚀和夷平作用为潜水氧化和层间氧化作用的发生奠定了良好的地质背景 (图 5)。

在研究区, 红层的发育依赖于 K/J 不整合界面。红层厚度平均 30 m, 呈面状分布, 自不整合界面向下褐色蚀变作用明显减弱并逐渐消失, 具有潜水氧化的特点。在 K/J 不整合界面之下, 如果发育大型砂体, 则褐色蚀变呈现舌状突出, 因而具有层间氧化的特征。

所以, 用潜水氧化和层间氧化作用模式能够合理地解释研究区侏罗系顶部红层的成因机理 (图 5)。但是研究区的情况显然比模式更为复杂, 视地层单位不同红层成因的复杂性也不同。如图 1 所示, 三工河组和西山窑组顶部的红层系潜水氧化和层间氧化的蚀变成因, 主要分布于永进油田 (永 1 井)、莫索湾及征沙村一带。而头屯河组—齐古组顶部红层则是在同沉积期发育红层的基础之上再次叠加了潜水氧化和层间氧化蚀变作用, 董 3 井和董 6 井一带的红层是沉积作用和蚀变作用叠加的结果。

(2) 成岩作用蕴藏的盆地构造演化信息。成岩作用及其有序演化蕴藏了车莫古隆起的演化过程: ① 初始压实作用预示着西山窑组在沉积之后被深埋并遭到一定程度的压实, 这是目的层上覆头屯河组—齐古组沉积的结果 (图 6a)。这说明在侏罗纪车莫古隆起的隆升幅度有限, 其隆升速率小于盆地沉降速率, 西山窑组—齐古组均接受了完整的沉积过程。②

随之而来的褐色蚀变 (赤铁矿化淋滤作用) 预示着车莫古隆起大幅度抬升, 导致侏罗系被剥露至地表, 从而遭受了全面的潜水氧化和层间氧化作用。这次事件形成了准噶尔盆地区域性的 K/J 角度不整合面 (图 6b)。③ 研究区大规模的胶结作用和再次压实作用预示着侏罗系的再次深埋过程, 这是白垩纪—新生代准噶尔盆地大规模接受沉积物充填的结果 (图 6c)。

由此可见, 岩石矿物学研究结果支持侏罗系具有“早期埋藏、中途开启、二度埋藏”的结论。

4 岩石矿物学证据与油气地质学证据的匹配关系

岩石矿物学研究揭示的车莫古隆起的演化历史在古地貌研究 (焦养泉等, 2006b)、埋藏史研究、油气成藏 (朱允辉和孟闲龙, 2005; 邹华耀等, 2005; 吴晓智等, 2006; 赵宏亮, 2006; 贾庆素等, 2007; 张福顺等, 2007) 等方面具有良好的匹配关系。

如图 5a 所示, 永 1 井和庄 3 井的埋藏史曲线在侏罗纪末期均有一次明显的抬升, 这次抬升事件与大范围的淋滤氧化作用—红层发育相配。此前西山窑组埋深分别达到 757 m 和 700 m, 所以在镜下可以见到以点接触的初始压实现象。事件之后, 侏罗系

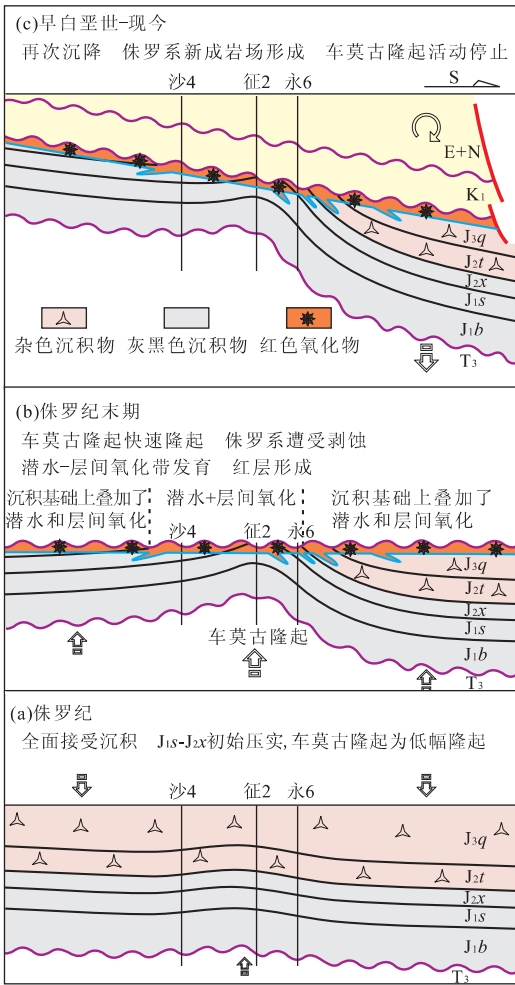


图 6 车莫古隆起演化与红层发育过程模式图

Fig. 6 Schematic diagram of tectonic evolution of the Chepaizi-Mosuowan paleo-uplift evolution and development of red beds

持续深埋,这为大规模的胶结作用和再次压实提供了充分条件。

侏罗纪末期的抬升氧化事件应该与粘土矿物或储层物性等方面具有匹配性。事实上在 K/J 界面附近,无论是李平等(2006)进行的粘土矿物研究,还是中国石化石油勘探开发研究院西部分院(2005,内部资料)所做的孔隙度研究(图 3),其发育规律均给予上述认识以有力佐证。

5 结论

(1)红层的成因系赤铁矿化蚀变作用所致,而非同沉积期成因,其形成机理类似于砂岩型铀矿形成过程中的潜水氧化和层间氧化作用模式。

(2)红层中的成岩作用复杂多样,但具有有序性。红层曾经经历了初始压实作用→淋滤作用(赤铁矿化—褐色蚀变,红层形成)→白云石化钙质胶结作用→硅质胶结作用→方解石化钙质胶结作用→再次压实作用(压裂)→绿泥石化胶结作用的演化过程。

(3)成岩作用过程记录了车莫古隆起的演化历史,成岩作用是对构造作用的一种具体响应。初始压实作用预示着侏罗系一度被深埋,深埋的动力来自于中上侏罗统的连续沉积作用,此时车莫古隆起隆升幅度有限;随之而来的褐色蚀变预示着车莫古隆起大幅度抬升,侏罗系被剥蚀出露地表并遭受了全面的潜水氧化和层间氧化作用;研究区大规模的胶结作用和再次压实作用预示着残留的侏罗系再次深埋,这是白垩纪—新生代盆地大规模接受沉积物充填的结果。由成岩作用恢复的盆地构造演化历史在古地貌、埋藏史、油气成藏研究等方面得到了佐证。

(4)由此可见,对侏罗系顶部红层成岩作用的研究是揭示研究区地层缺失原因以及车莫古隆起演化历史的关键钥匙。此研究成果不仅能为油气勘探提供必要的地质信息,同时可以借鉴于沉积盆地构造作用研究中。

References

Bureau of Geology, CNNC, 2002. Sandstone-type uranium deposits in China: Geology and exploration techniques. Atomic Energy Press, Beijing, 1—217.

Franz, J. D., 1993. Uranium ore deposits. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 250—319.

He, D. F., Zhai, G. M., Kuang, J., et al., 2005. Distribution and tectonic features of paleo-uplifts in the Junggar basin. *Chinese Journal of Geology*, 40(2): 248—261 (in Chinese with English abstract).

Jia, Q. S., Yi, W., Chen, F. J., et al., 2007. The role of Che-Mo palaeohigh in controlling hydrocarbon accumulation in central Junggar basin. *Oil & Gas Geology*, 28(2): 257—265 (in Chinese with English abstract).

Jiao, Y. Q., Wu, F. D., Li, S. T., et al., 2000. Diagenism and thermal fluid episode migration events in Luanping basin, China. *Acta Petrologica Sinica*, 16(4): 615—622 (in Chinese with English abstract).

Jiao, Y. Q., Wu, L. Q., Yang, S. K., et al., 2006a. Sedimentology of uranium reservoir: The exploration and exploitation base of sandstone-type uranium deposits. Geological Publishing House, Beijing, 1—331 (in Chinese).

Jiao, Y. Q., Zhu, P. M., Lei, X. R., et al., 2006b. 3D model-

- ing and visualization of geosciences spatial information; Application to the Ordos basin and other fields. Science Press, Beijing, 171—187 (in Chinese).
- Li, P. P., Zou, H. Y., Hao, F., 2006. Formation mechanism and effect on petroleum accumulation of the weathering crust top of Jurassic in the hinterland of Junggar basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 24(6): 889—896 (in Chinese with English abstract).
- Liu, B. J., Zhang, J. Q., 1992. Sedimentary diagenesis. Science Press, Beijing, 1—269 (in Chinese).
- Peng, H., Wu, Z. C., 2003. A preliminary study on the characteristics and the distribution of red beds. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 42(5): 109—113 (in Chinese with English abstract).
- Wu, X. Z., Zhang, N. F., Shi, X., et al., 2006. Characteristics and reservoiring mode of Chepaizi-Mosuowan paleo-uplift in Junggar basin. *China Petroleum Exploration*, (1): 65—68, 84 (in Chinese with English abstract).
- Xie, Y. F., Li, H. Q., Sun, Z. C., 2006. Discovery of a weathering crust between Jurassic and Cretaceous and its stratigraphic significance in the Shinan area of the Junggar basin. *Geological Review*, 52(1): 137—144 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, F. S., Yu, Y. F., Zhu, Y. H., et al., 2007. Tectonic evolution of Chepaizi-Mosuowan paleo-uplift and its hydrocarbon distribution. *West China Petroleum Geosciences*, 3(1): 9—16 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, H. L., 2006. The evolution and reservoir-controlled pattern in Chepaizi-Mosuowan paleo-uplift in Junggar basin. *Xinjiang Petroleum Geology*, 27(2): 160—162 (in Chinese with English abstract).
- Zhou, L., Zheng, J. Y., Lei, D. W., et al., 2007. Recovery of eroded thickness of the Jurassic of Chemo palaeo-uplift in Junggar basin. *Journal of Palaeogeography*, 9(3): 243—252 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, L. J., Li, J. Y., 2001. Iron oxide minerals in red weathering crust of carbonate rocks. *Chinese Journal of Geology*, 36(4): 395—401 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, Y. H., Meng, X. L., 2005. Formation and evolution of the Chemo ancient uplift and its influence on reservoir formation in the central area, the Junggar basin. *West China Petroleum Geosciences*, 1(1): 55—57, 108 (in Chinese with English abstract).
- Zou, H. Y., Hao, F., Zhang, B. Q., et al., 2005. Fluid-conduit framework and its control on petroleum accumulation in the Junggar basin. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 30(5): 609—616 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 何登发, 翟光明, 况军, 等, 2005. 准噶尔盆地古隆起的分布与基本特征. *地质科学*, 40(2): 248—261.
- 贾庆素, 尹伟, 陈发景, 等, 2007. 准噶尔盆地中部车—莫古隆起控藏作用分析. *石油与天然气地质*, 28(2): 257—265.
- 焦养泉, 武法东, 李思田, 等, 2000. 滦平盆地成岩作用过程及古热流体幕式运移事件分析. *岩石学报*, 16(4): 615—622.
- 焦养泉, 吴立群, 杨生科, 等, 2006a. 铀储层沉积学——砂岩型铀矿勘查与开发的基础. 北京: 地质出版社, 1—331.
- 焦养泉, 朱培民, 雷新荣, 等, 2006b. 地学空间信息三维建模与可视化——鄂尔多斯盆地及相关领域的实践. 北京: 科学出版社, 171—187.
- 李平平, 邹华耀, 郝芳, 2006. 准噶尔盆地腹部侏罗系顶部风化壳的发育机制及其油气成藏效应. *沉积学报*, 24(6): 889—896.
- 刘宝瑞, 张锦泉, 1992. 沉积成岩作用. 北京: 科学出版社, 1—269.
- 彭华, 吴志才, 2003. 关于红层特点及分布规律的初步探讨. *中山大学学报(自然科学版)*, 42(5): 109—113.
- 吴晓智, 张年富, 石昕, 等, 2006. 准噶尔盆地车莫古隆起构造特征与成藏模式. *中国石油勘探*, (1): 65—68, 84.
- 谢寅符, 李洪奇, 孙中春, 2006. 准噶尔盆地石南地区侏罗系—白垩系间风化壳的发现及其地层学意义. *地质论评*, 52(1): 137—144.
- 张福顺, 余滢帆, 朱允辉, 等, 2007. 车—莫古隆起形成演化与油气分布. *中国西部油气地质*, 3(1): 9—16.
- 赵宏亮, 2006. 准噶尔盆地车莫古隆起演化及其控藏规律. *新疆石油地质*, 27(2): 160—162.
- 周路, 郑金云, 雷德文, 等, 2007. 准噶尔盆地车莫古隆起侏罗系剥蚀厚度恢复. *古地理学报*, 9(3): 243—252.
- 朱立军, 李景阳, 2001. 碳酸盐岩红色风化壳中的氧化铁矿物. *地质科学*, 36(4): 395—401.
- 朱允辉, 孟闲龙, 2005. 准噶尔盆地车莫古隆起的形成演化及其对腹部油气成藏的影响. *中国西部油气地质*, 1(1): 55—57, 108.
- 邹华耀, 郝芳, 张柏桥, 等, 2005. 准噶尔盆地流体输导格架及其对油气成藏与分布的控制. *地球科学——中国地质大学学报*, 30(5): 609—616.