

鄂尔多斯盆地延长组长1油层组古地貌特征 与油气富集规律 ——以陕北W地区为例

张凤奇¹,严小镞²,武富礼¹,李 滔³,王维喜³,白二林³

[1. 西安石油大学 地球科学与工程学院,陕西 西安 710065; 2. 中国石油大学 地球科学学院,北京 102249;
3. 陕西延长石油(集团)有限责任公司,陕西 西安 710075]

摘要:揭示鄂尔多斯盆地延长组长1油层组油藏的油气富集规律对指导该盆地长1油层组的油气勘探具有重要意义。以陕北W地区为例,在地层划分对比的基础上,运用残余厚度法,并结合前人的区域古地貌研究成果,对研究区长1油层组顶部古地貌进行了恢复,同时分析了古地貌与长1油层组石油分布的关系。结合长1油层组的构造、沉积相、砂体厚度及封盖条件等控藏要素及与油气分布的关系,总结了研究区长1油层组油藏的富集规律。结果表明,研究区延长组长1油层组顶部发育有侵蚀沟谷、侵蚀斜坡和侵蚀残梁3种地貌单元,古地貌具有“一沟谷、两斜坡、两残梁”的特点,地形相对较高的残梁区对长1油层组石油分布具有重要控制作用。鼻状隆起构造脊、砂体较厚且砂地比较大的河道发育区也对长1油层组石油分布起着重要控制作用。另外,旋回性泥岩、致密砂岩层、侵蚀不整合面和水动力等多种封盖条件对长1油藏的的形成起着重要遮挡作用。在上述控制因素作用下,形成以构造-岩性油藏和岩性油藏为主,岩性-水动力油藏为辅的多种油藏类型。鄂尔多斯盆地长1油层组的石油勘探重点应放在长1地形较高古地貌及沉积砂体发育的有利相带等的复合区域。

关键词:古地貌;油气富集;油藏类型;长1油层组;鄂尔多斯盆地

中图分类号:TE122.3

文献标识码:A

Paleogeomorphology characteristics and oil accumulation patterns of Chang 1 oil reservoir in the Yanchang Formation, Ordos Basin: a case study of W area in the northern of Shaanxi

Zhang Fengqi¹, Yan Xiaoyong², Wu Fuli¹, Li Zhao³, Wang Weixi³, Bai Erlin³

(1. School of Earth Sciences and Engineering, Xi'an Shiyou University Xi'an, Shaanxi 710065, China;
2. School of Geosciences, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;
3. Shaanxi Yanchang Petroleum (Group) Co., LTD, Xi'an, Shaanxi 710075, China)

Abstract: Revealing the accumulation patterns of Chang 1 oil reservoir of the Yangchang Formation in Ordos Basin is very significant for oil and gas exploration in this area. Based on stratigraphic division and correlation, the paleogeomorphology of Chang 1 oil reservoir is restored by using residual thickness methods combined with previous research of regional paleogeomorphology. On this basis, its relationship with the distribution of hydrocarbons is analyzed. The patterns of hydrocarbon accumulation of this formation in this region are summarized through a comprehensive analysis of various controlling factors on hydrocarbon accumulation such as structures, sedimentary facies, sandstone thickness, sealing conditions, and so on. Three geomorphic units are recognized in Chang 1 oil reservoir, namely erosion valley, erosion slope and erosion monadnock. The paleogeomorphology features in “one valley, two slopes and two monadnocks”. The erosion monadnocks in relatively higher terrain, the ridges of nose-like uplift, channel sands with larger thickness and higher net-to-gross ratio all have significant controlling effects on distribution of hydrocarbons of this formation. Moreover, cyclical mudstone, tight sandstone, erosion unconformity surfaces and hydrodynamic force all have large contributions to the sealing of the Chang 1 oil reservoir. Structural-lithologic reservoir and lithologic reservoir are the primary reservoir types, while lithologic-hydrodynamic reservoir is the secondary reservoir type. The overlapping regions of the main factors, such as the

收稿日期:2013-03-25;修订日期:2013-08-08。

第一作者简介:张凤奇(1981—),男,博士、讲师,油气成藏地质学。E-Mail:zhangfengqi68@126.com。

基金项目:国家自然科学基金项目(41102083);陕西省教育厅科研计划项目(2013JK0846);博士启动基金项目(YS29031610)。

higher paleogeomorphology and the favorable sedimentary facies zones with larger sandstone thickness are the key exploration targets of this formation in Ordos Basin.

Key words: paleogeomorphology, hydrocarbon enrichment, reservoir type, Chang 1 oil reservoir, Ordos Basin

三叠纪末的印支运动使鄂尔多斯盆地整体抬升, 上三叠统延长组顶部遭受强烈风化及河流侵蚀等地质作用, 形成水系分布、沟壑纵横、丘陵起伏的古地貌景观^[1-2]。近些年, 有关鄂尔多斯盆地前侏罗纪古地貌的研究, 主要关注其发育与侏罗系油藏的分布关系上, 认为遭受下切侵蚀的延长组顶部上覆的侏罗纪河道砂体是延长组油气运移到延安组的主要通道, 运移到延安组的油气将在其发育的背斜、鼻隆等构造聚集成藏^[2-10], 而较少关注前侏罗纪古地貌对其下覆延长组油藏分布的影响^[7, 11-12]。延长组长 1 油层组(以下简称长 1)位于延长组的顶部, 其地层残缺不全、厚度不等^[2], 目前该油层组的勘探程度较低, 且相关研究也鲜有报道^[11, 13-15], 其古地貌对长 1 油藏分布有何影响? 油藏的富集规律如何? 目前尚不清楚。本文旨在通过典型区块解剖, 分析长 1 残余地层古地貌特征及其他控油因素与石油分布的关系, 总结长 1 油藏富集规律, 指出鄂尔多斯盆地延长组长 1 油藏的勘探方向, 以期指导该盆地长 1 油层组的油气勘探。

1 研究区地质特征

晚三叠世, 鄂尔多斯盆地为大型内陆湖盆形成和发展时期, 到长 7 时期湖盆发育达到鼎盛, 随后开始萎缩。到长 1 沉积时, 盆地基底的不不断上升, 促使了整个盆地进一步分化瓦解, 在陕北斜坡南部仅仅发育河流和三角洲沉积^[16]。盆地在侏罗纪早中期发育有庆西、宁陕、蒙陕、晋陕等支流及近东西流向的甘陕主河流^[13], 在甘陕主河自西向东流向上, 延长组顶部地层被侵蚀程度基本逐渐减弱^[2], 研究区陕北 W 地区位于甘陕古河道的东部(图 1), 受其侵蚀作用的差异影响, 目前延长组顶部长 1 油层组发育有厚度不等的残余地层。

在区域构造上, 研究区位于鄂尔多斯盆地陕北斜坡带的东南部(图 1)。陕北斜坡地层产状较为平缓, 整体上表现为东高西低的单斜构造, 研究区地层倾角在 0.5°左右, 地层坡降为 6~8 m/km, 由于差异压实作用, 在单斜背景上发育有幅度不等的鼻状隆起。

2 长 1 古地貌特征

目前, 常用的古地貌恢复方法主要有残余厚度法、印模法、沉积学分析法、层序地层学方法和地球物理法等^[13, 17], 这些方法各有优缺点。其中残余厚度法是通

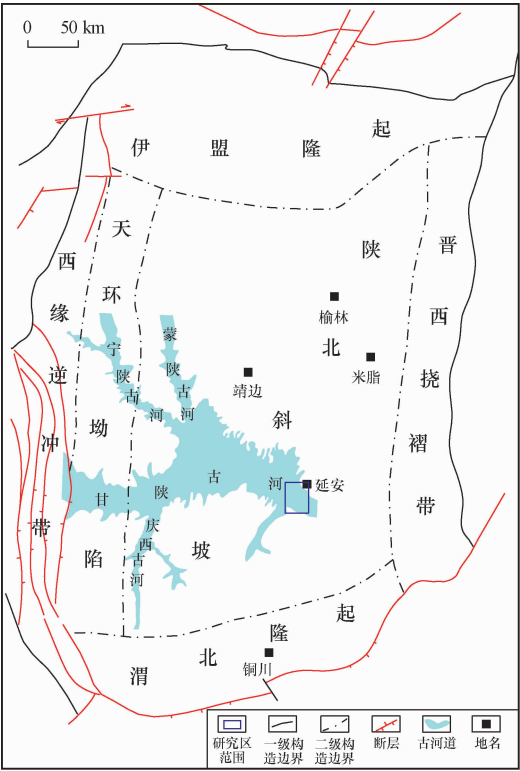


图 1 研究区位置及侏罗纪古河道分布
Fig. 1 Location of the study area and distribution of the Jurassic paleo-channels
(侏罗纪古河道分布据文献[2].)

过研究风化壳残余厚度特征而对其古地貌形态进行分析的一种最为直接而有效的的古地貌恢复方法, 对局部的古地貌分析比较有效^[13]。研究区长 1 下覆地层没有被剥蚀, 厚度变化不大, 因此, 本次主要采用残余厚度法, 选择长 2 顶作为基准面, 以长 1 残余地层厚度来分析研究区长 1 的古地貌特征。

2.1 长 1 地层划分和厚度特征

在研究区内, 富县期和延 10 期主要为河道沉积, 把该时期的大套厚砂岩的底作为长 1 顶界。长 1 油层组下部发育有鄂尔多斯盆地广泛分布的 K9(或称 B4)标志层, 在研究区 K9 标志层厚度一般为 0~5 m, 岩性由黑色泥岩、页岩、炭质泥岩、含凝灰质泥岩组成, 电性特征表现为高声速、高伽马、自然电位偏正、中低电阻、大井径等(图 2), 研究区部分井存在该标志层, 本次将长 1 与长 2 的分界置于与 K9 相邻的一般厚几米到十几米砂层(局部为粉砂)的底部(图 2)。

通过地层对比, 对研究区长 1 地层进行了划分, 并编制了研究区长 1 残余地层厚度图(图 3)。研究区长

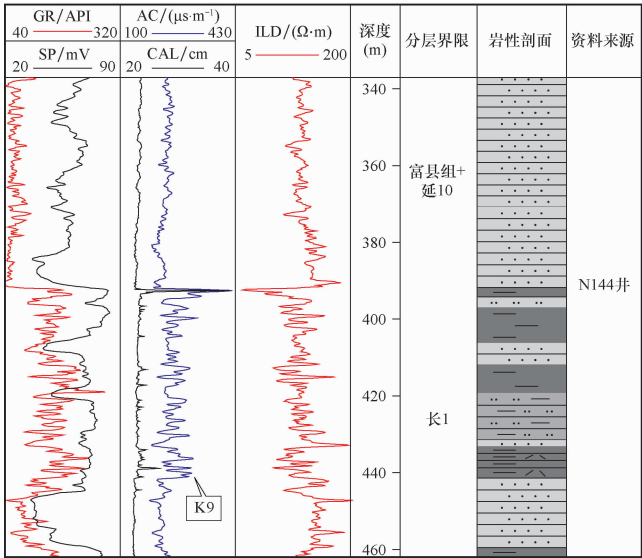


图2 研究区长1油层组K9标志层和侏罗系砂岩电性特征
Fig.2 Electric characteristics of K9 marker bed in the Chang 1 oil reservoir and the Jurassic sandstone in the study area

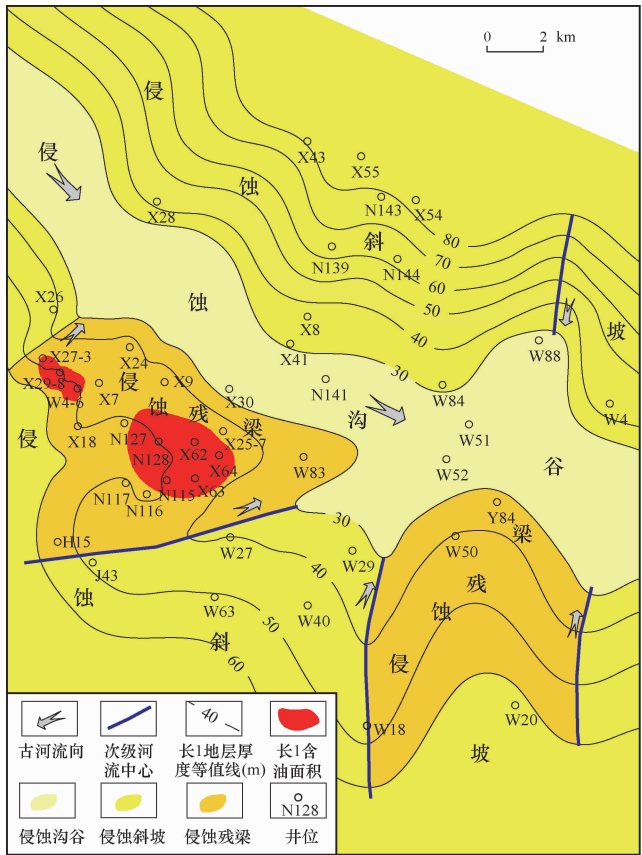


图3 研究区长1油层组残余地层厚度、古地貌与石油分布叠合图
Fig.3 Overlapping map of residual strata thickness, paleogeomorphology and oil distribution of the Chang 1 oil reservoir in the study area

1 残余地层厚度为25~90 m,厚度变化大且较有规律,等厚展布方向主体为北西-南东向,局部为北东-南西向,并呈现出中间厚向两侧变薄的趋势(图3)。

2.2 长1古地貌特征

通过研究区长1残余地层厚度图及区域古地貌特征,恢复了研究区长1古地貌形态,其形态包括侵蚀沟谷、侵蚀斜坡和侵蚀残梁3种古地貌单元。这里侵蚀沟谷为古河谷中心侵蚀相对较强处;侵蚀斜坡指具有一定坡度,一般发育于侵蚀沟谷两侧的区域位置^[13];侵蚀残梁为侵蚀斜坡的前缘部位,受到支河谷的冲刷、切割,导致侵蚀斜坡前缘被肢解破碎,形态成指状、椭圆状或长条状^[6,9]。

通过精细识别,认为研究区发育1条主干侵蚀沟谷(长1残余地层厚度为25~30 m之间的区域),为甘陕古河的主干河道中心,另发育有5条次级侵蚀沟谷(次级河流的中心区域)。主干侵蚀沟谷两侧基本为侵蚀斜坡,在主干侵蚀沟谷西南侧的侵蚀斜坡上发育有2个较为明显的侵蚀残梁,其范围为主干侵蚀沟谷和次级侵蚀沟谷所围限区域(图3)。研究区长1总体古地貌具有中间1条侵蚀沟谷、两侧分布2个侵蚀斜坡和2个侵蚀残梁的特征。

3 长1油藏分布和富集主控因素

3.1 地形较高古地貌及其背景上的鼻状隆起构造

古地貌对其下部的油气分布与富集具有重要的控制和影响,地形较高的古地貌单元或其地质背景是油气富集的主要指向^[13],研究区亦是如此。将研究区长1有效厚度与其古地貌相叠合(图3),发现长1有效厚度区域位于古地形较高的N127侵蚀残梁区内。侵蚀残梁为长1地层残余厚度相对周围较大区,而研究区延长组地层平缓,构造简单,整体为西倾单斜,在上覆沉积的差异压实作用下,古地貌相对高处的侵蚀残梁区内往往是长1地层顶面构造发育区。为更好地反映长1地层构造圈闭顶面的起伏形态,本次做了长1上部渗透性砂体的顶面构造图,发现研究区长1渗透性砂体顶面发育西倾单斜背景上的北西-南东向或近东西向展布的鼻状隆起构造,这些鼻状构造对长1油藏的形成和富集起了十分重要的控制作用。已发现的长1油藏均位于构造幅度较大、延伸较长的鼻状隆起内(图4)。即油藏位于X27-3井—X7井—N127井—N128井—X63井—线的鼻状隆起,其构造幅度约10~40 m,展布宽度约5 km,延伸长度约9.5 km,是研究区长1油层组主力砂体顶部构造中最为发育的鼻状隆起。另外,油藏主要沿该鼻状隆起的轴部构造脊分布。因此,地形较高古地貌及其背景上的鼻状隆起构造长1油层组石油富集的重要位置。

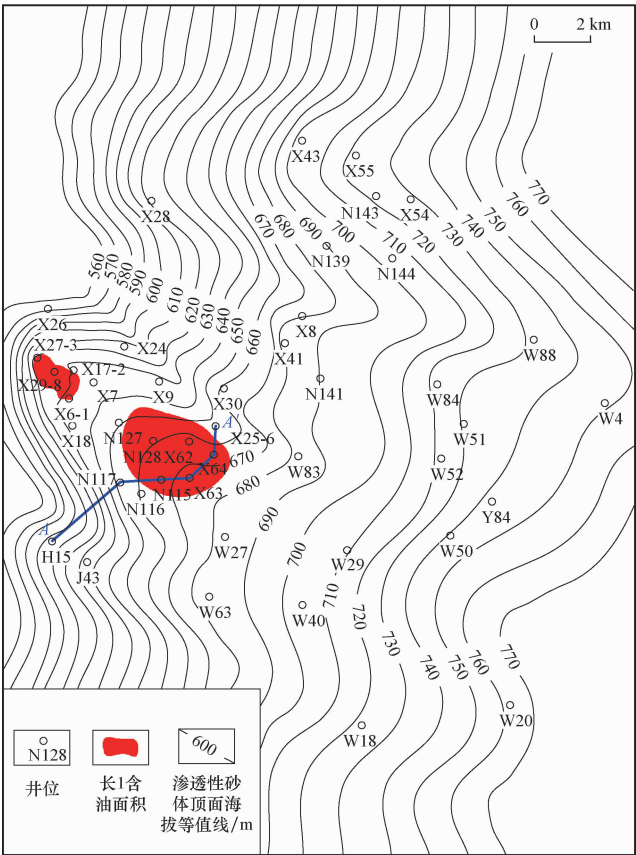


图 4 研究区长 1 油层组渗透性砂体顶面构造与石油分布叠合图
Fig. 4 Overlapping map of top surface structures of permeable sandbodies and oil distribution in the Chang 1 oil reservoir of the study area

3.2 河道砂体及优相区

砂体厚度是油藏形成的一个较为重要控制因素。目前已发现的长 1 油藏均分布在砂体较厚的区域,砂体厚度均在 20 m 以上,大部分砂体厚度在 25 ~ 40 m (图 5)。另外,长 1 油藏均分布在砂地比大于 0.5 的区域(图 5),这里的砂体不仅较厚,而且物性也相对较好,并且砂体之间的连通性较好,这样一方面,与下覆长 2¹ 砂体接触的概率较大,使下部长 7 烃源岩生成的石油通过叠置砂体运移到长 2 之后,继续沿长 2 与长 1 的叠置砂体向长 1 油层组运移;另一方面,砂体的连通性好,保证了较好的运移通道,使得石油能在长 1 砂体上部具有较好遮挡条件的位置形成聚集。这里的砂地比大于 0.5 的河道沉积区为研究区长 1 油层组的优相区,是石油聚集的重要场所。因此,较厚的河道砂体及优相区是长 1 油层组石油富集的主要场所。

3.3 旋回性泥岩、致密砂岩层、侵蚀不整合面和水动力等封盖条件

侏罗纪甘陕古河的下切侵蚀作用是延长组顶部盖层受到不同程度的破坏,一般认为在古河道及其附近

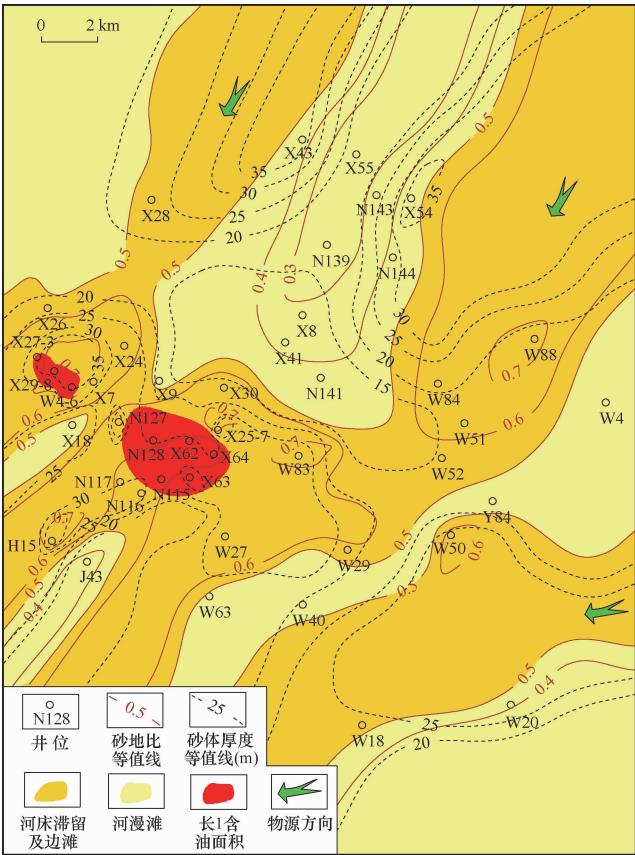


图 5 研究区长 1 油层组残余地层沉积相、砂体厚度与石油分布叠合图
Fig. 5 Overlapping map of residual strata sedimentary facies, sandstone thickness and oil distribution in the Chang 1 oil reservoir of the study area

的下覆位置形成油气聚集的封盖条件较差,需有特殊封盖条件为油气聚集提供保证。研究区长 1 为曲流河沉积,发育有河道砂岩和河道间泥岩和粉砂质泥岩沉积,一般河道间泥岩和粉砂质泥岩沉积位于河道砂岩旋回沉积之上(图 6),泥岩和粉砂质泥岩较为致密,排驱压力大,封盖能力强,是下伏长 1 油藏油气聚集的良好保存条件。

根据常规物性分析资料,长 1 储层孔隙度最小值为 6.6%,最大值为 20.1%,平均值为 12.5%,主要分布在 10.0% ~ 15.0%,占样品总数近 74.5%;渗透率分布在 $0.05 \times 10^{-3} \sim 26.9 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均 $2.4 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,主要分布在 $0.1 \times 10^{-3} \sim 3.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,占全部样品约 71.4%。可见,研究区长 1 储层基本属于低-特低孔、特低渗储层,受沉积、成岩作用的差异影响,研究区长 1 部分砂体出现了致密化。因此,除了旋回性泥岩遮挡外,顶部和侧向上的致密砂岩层对长 1 油层也起到了重要遮挡作用,在旋回性泥岩、致密砂岩层的封堵之下,除形成岩性油藏之外,还可形成与鼻状隆起构造等共同控制的复合油藏(图 6)。

在古地貌侵蚀残梁区,长 1 顶部含油储层上部泥岩盖层厚度普遍较小,大部分在 10 m 左右,盖层条件

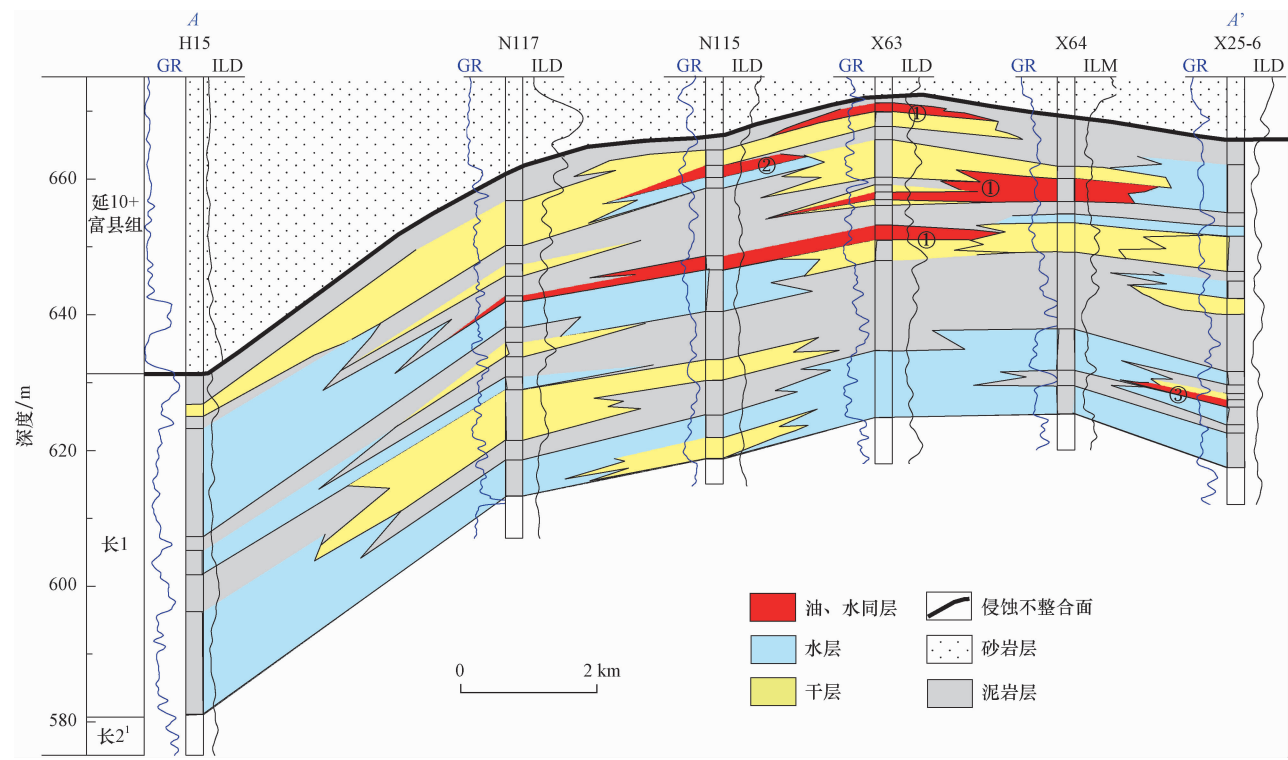


图6 研究区长1油层组油藏剖面(剖面位置A—A'见图4)

Fig. 6 Reservoir profile of the Chang 1 reservoir in the study area(see Fig. 4 for the location)

① 构造-岩性油藏;② 岩性油藏;③ 岩性-水动力油藏

貌似较差,但其油气并未散失而形成了聚集(图6)。在古地貌相对高处的侵蚀残梁区,易形成侵蚀不整合面及其侏罗纪延安期早期的坡残积-坡积成因的泥质岩^[13],通过研究区部分录井资料详细分析发现,在侵蚀残梁区顶部侵蚀面附近,一般发育有泥质岩沉积,厚度可达数米,在测井曲线上表现出明显的高伽马、高声波的特征,该侵蚀不整合面从储层上部 and 侧向上起到了对长1顶部油气的间接封堵作用,一定程度上补充了长1顶部泥岩盖层条件的不足(图6)。尽管研究区没发现不整合面下直接封堵油气的现象,但根据前人研究,在研究区北西方向,位于甘陕古河道中部的志丹地区长1油层组存在有与不整合面侧向封堵的地层-岩性复合油藏^[13]。

除了上述封盖条件外,长1油藏的富集还受到水动力条件的封堵作用。目前发现的研究区长1油层单层厚度小,一般为1~3 m,上、下叠置分布(图6),部分油层的分布富集可用水动力的封闭作用较好的解释。由于研究区地层较为平缓,充注动力主要为浮力作用^[18],而厚度较小的单油层内产生的浮力较小,很容易形成水动力的遮挡作用^[19],在研究区长1油层组部分位置形成了与之相关的岩性-水动力油藏(图6)。

综上,旋回性泥岩、致密砂岩层、侵蚀不整合面和水动力是形成长1油层组石油聚集的重要封盖条件。

4 结论

- 1) 研究区长1残余地层厚度为25~90 m,等厚展布方向主体为北西-南东向,局部为北东-南西向,并呈现出中间厚向两侧变薄的趋势;研究区长1顶面总体古地貌格局由中间1条北西-南东向展布的侵蚀沟谷、其两侧分布2个侵蚀斜坡和2个侵蚀残梁组成。
- 2) 研究区长1油藏的分布、富集受地形较高古地貌、鼻状隆起构造、沉积优相区及旋回性泥岩、致密砂岩层、侵蚀不整合面和水动力的封盖等多种条件和因素的共同控制。在此影响下,形成多种油藏类型,其中以构造-岩性油藏、岩性油藏为主,其次为岩性-水动力油藏等。

参 考 文 献

[1] 赵俊兴,陈洪德. 鄂尔多斯盆地侏罗纪早中期甘陕古河的演化变迁[J]. 石油与天然气地质,2006,27(2):152-158.
Zhao Junxing, Chen Hongde. Evolution of Gan-Shaan paleochannel during Early and Middle Jurassic in Ordos basin[J]. Oil & Gas Geology,2006,27(2):152-158.

[2] 郭正权,张立荣,楚美娟,等. 鄂尔多斯盆地南部前侏罗纪古地貌对延安组下部油藏的控制作用[J]. 古地理学报,2008,19(1):63-71.
Guo Zhengquan, Zhang Lirong, Chu Meijuan, et al. Pre-Jurassic palaeogeomorphic control on the hydrocarbon accumulation in the

- Lower Yan'an Formation in southern Ordos Basin[J]. Journal of Palaeogeography, 2008, 19(1): 63-71.
- [3] 赵俊兴, 陈洪德, 时志强. 古地貌恢复技术方法及其研究意义——以鄂尔多斯盆地侏罗纪沉积前古地貌研究为例[J]. 成都理工大学学报, 2001, 28(2): 260-265.
- Zhao Junxing, Chen Hongde, Shi Zhiqiang. The way and implications of rebuilding palaeogeomorphology taking the research of palaeogeomorphology of the Ordos Basin before Jurassic deposition as example[J]. Journal of Chengdu University of Technology, 2001, 28(2): 260-265.
- [4] 宋凯, 吕剑文, 凌升阶, 等. 鄂尔多斯盆地定边—吴旗地区前侏罗纪古地貌与油藏[J]. 古地理学报, 2003, 5(4): 497-506.
- Song Kai, Lü Jianwen, Ling Shengjie, et al. Palaeogeomorphic features of the Pre-Jurassic and oil reservoir of Dingbian-Wuqi area in Ordos basin[J]. Journal of Palaeogeography, 2003, 5(4): 497-506.
- [5] 郭少斌, 孙绍寒. 周家湾地区前侏罗纪古地貌恢复及油气富集规律[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2006, 31(3): 372-377.
- Guo Shaobin, Sun Shaohan. Rebuilding paleogeomorphology of Pre-Jurassic and oil-gas accumulation regulation in Zhoujiawan area[J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2006, 31(3): 372-377.
- [6] 陶辉飞, 王多云, 李树同, 等. 绥靖油田延长组顶部侵蚀古地貌与侏罗系油藏关系分析[J]. 天然气地球科学, 2008, 19(2): 183-187.
- Tao Huifei, Wang Duoyun, Li Shutong, et al. Relationship between the Yangchang Formation top's paleogeomorphology and the earlier Jurassic petroleum, Suijing oilfield[J]. Natural Gas Geoscience, 2008, 19(2): 183-187.
- [7] 丁晓琪, 张哨楠, 刘岩. 鄂尔多斯盆地南部镇泾油田前侏罗纪古地貌与油层分布规律[J]. 地球科学与环境学报, 2008, 30(4): 385-388.
- Ding Xiaoqi, Zhao Shaonan, Liu Yan. Relationship between Pre-Jurassic palaeogeomorphology and oil distribution of Zhenjing oilfield in south Ordos basin[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2008, 30(4): 385-388.
- [8] 赵敏, 王多云, 刘军锋, 等. 沉积前古地貌对油藏成藏的有利条件分析——以鄂尔多斯盆地子午岭地区下侏罗统为例[J]. 天然气地球科学, 2010, 21(3): 476-481.
- Zhao Min, Wang Duoyun, Liu Junfeng, et al. Favorable conditions for petroleum accumulation by paleogeomorphology before deposition—taking lower Jurassic in Ziwouling area, Ordos basin as an example[J]. Natural Gas Geoscience, 2010, 21(3): 476-481.
- [9] 李树同, 张海峰, 王多云, 等. 聚油古地貌成因类型及其有利成藏条件分析——以鄂尔多斯盆地上里塬地区前侏罗纪古地貌为例[J]. 沉积学报, 2011, 29(5): 962-968.
- Li Shutong, Zhang Haifeng, Wang Duoyun, et al. Genetic type of oil-gas accumulation paleogeomorphology and favorable conditions for petroleum accumulation: taking the paleogeomorphology of Pre-Jurassic in Shangliyuan area, Ordos Basin as an example[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2011, 29(5): 962-968.
- [10] 赵虹, 党彝, 郑小杰, 等. 安塞油田前侏罗纪古地貌特征及其与油气富集的关系[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2012, 42(2): 270-275.
- Zhao Hong, Dang Ben, Zheng Xiaojie, et al. Pre-Jurassic palaeogeomorphology and the relations with oil and gas accumulation in Ansai Oilfield[J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 2012, 42(2): 270-275.
- [11] 刘哲. 姬源地区长1油藏控制因素研究[D]. 西安: 西北大学, 2010.
- Liu Zhe. The research of control factors of Chang1 reservoir in Jiuyan area[D]. Xi'an: Northwest University, 2010.
- [12] 王建民, 李文厚, 任战利, 等. 陕北志丹地区长2油藏油气富集规律研究[J]. 矿物岩石, 2011, 3(2): 79-85.
- Wang Jianmin, Li Wenhou, Ren Zhanli, et al. Research on regularity of petroleum accumulation and distribution for Chang 2 oil reservoir in Zhidan region, Northern Shanxi[J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 2011, 3(2): 79-85.
- [13] 王建民, 田东恩, 任战利, 等. 陕北志丹地区前侏罗纪古地貌及其控制作用[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2012, 48(4): 1-7.
- Wang Jianmin, Tan Dongen, Ren Zhanli, et al. Pre-Jurassic palaeogeomorphology and its control action in Zhidan area, northern Shaanxi province[J]. Journal of Lanzhou University (Natural Sciences), 2012, 48(4): 1-7.
- [14] 苏复义, 周文, 金文辉, 等. 鄂尔多斯盆地中生界成藏组合划分与分布评价[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(4): 582-590.
- Su Fuyi, Zhou Wen, Jin Wenhui, et al. Identification and distribution of the Mesozoic plays in Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(4): 582-590.
- [15] 赵靖舟, 白玉彬, 曹青, 等. 鄂尔多斯盆地准连续型低渗透-致密砂岩大油田成藏模式[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(6): 811-827.
- Zhao Jingzhou, Bai Yubin, Cao Qing, et al. Quasi-continuous hydrocarbon accumulation: a new pattern for large tight sand oilfields in Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(6): 811-827.
- [16] 李文厚, 庞军刚, 曹红霞, 等. 鄂尔多斯盆地晚三叠世延长组沉积体系及岩相古地理演化[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2009, 39(3): 501-506.
- Li Wenhou, Pang Jungang, Cao Hongxia, et al. Depositional system and paleogeographic evolution of the late Triassic Yanchang Stage in Ordos Basin[J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 2009, 39(3): 501-506.
- [17] 江青春, 胡素云, 汪泽成, 等. 四川盆地茅口组风化壳岩溶古地貌及勘探选区[J]. 石油学报, 2012, 33(6): 949-960.
- Jiang Qingchun, Hu Suyun, Wang Zecheng, et al. Paleokarst landform of the weathering crust of Middle Permian Maokou Formation in Sichuan Basin and selection of exploration regions[J]. Acta Petrolei Sinica, 2012, 33(6): 949-960.
- [18] 张凤奇, 王震亮, 武富礼, 等. 低渗透致密砂岩储层成藏期油气运移的动力分析[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2012, 36(4): 32-37.
- Zhang Fengqi, Wang Zhenliang, Wu Fuli, et al. Dynamic analysis on hydrocarbon migration of accumulation periods in low permeability-tight sandstone reservoir[J]. Journal of China University of Petroleum, 2012, 36(4): 32-37.
- [19] 赵靖舟, 王永东, 孟祥振, 等. 鄂尔多斯盆地陕北斜坡东部三叠系长2油藏分布规律[J]. 石油勘探与开发, 2007, 34(1): 23-27.
- Zhao Jingzhou, Wang Yongdong, Meng Xiangzhen, et al. Law of petroleum accumulation and distribution in Triassic Chang 2 oil-bearing Formation in eastern North Shaanxi Slope, Ordos Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2007, 34(1): 23-27.