

论鄂尔多斯盆地陕北盐洼镇钾1井 奥陶系马四段的重复

马占荣^{1,2)}, 包洪平^{1,2)}, 黄建松^{1,2)}, 杨帆^{1,2)}

1) 中国石油长庆油田分公司勘探开发研究院, 西安, 710018;

2) 低渗透油气田勘探开发国家工程实验室, 西安, 710018

内容提要: 陕北奥陶纪盐洼区钻探的镇钾1井“马五₆盐层段”(奥陶系马家沟组五段6分段)出现了异常的岩性组合序列,盐岩厚度大幅度减薄,代之以厚度100 m以上的纯碳酸盐岩地层,这一变化单从沉积学角度无法解释。为了弄清该井异常岩性段的层位归属,开展了岩性组合、测井旋回、碳氧同位素对比和地震剖面多种资料的综合分析。纵向地层岩性、测井旋回特征、碳氧同位素对比分析表明,这套地层是构造复杂化了的异常地层序列,并非原地沉积,厚度超过100 m的碳酸盐岩地层实为马四段(马家沟组四段),与下伏原地正常沉积的马四段重复。地震剖面显示马四段重复可能与塑性盐岩卷入复杂化了的逆断层有关。因此,镇钾1井钻前预测的“马五₆盐层段”实际上是以马四段为主的逆冲断片,该井地层存在重复。镇钾1井马四段重复的确认,有助于正确认识陕北盐洼区马五₆地层充填序列,推动局部构造—沉积相关研究工作的进一步开展。

关键词: 鄂尔多斯盆地;地层重复;奥陶系马家沟组四段;马五₆盐层(奥陶系马家沟组五段6分段);碳同位素;氧同位素;钾盐

鄂尔多斯盆地陕北地区是我国重要的固体钾盐勘探目标区(刘群等,1997;郑绵平等,2010,2012;张永生等,2013,2014),含盐地层赋存的沉积环境为稳定的奥陶系陆表海蒸发台地盐湖相沉积(史基安等,2009;张永生等,2015)。以往认为米脂—子州地区为盐湖发育鼎盛时期“马五₆亚期”(奥陶系马家沟组五段6分段)的沉积中心,地层稳定,构造简单,仅发育同沉积期正断层,并认为同沉积正断层下降盘控制了局部盐洼中心的发育,是卤水蒸发浓缩强度最大、盐岩厚度最大的有利成钾区带(张永生等,2013)。为探索局部盐洼的成钾条件,于2010年钻探了全盆地第一口奥陶系全取芯的钾盐基准探井—镇钾1井。然而实钻结果与地质期望相距甚远,在预测的奥陶系马家沟组马五₆亚段盐岩发育的层段出现了异常的地层序列,盐层厚度大幅度减薄,代之以连续厚度超100 m的石灰岩和白云岩地层(2596.0~2724.8 m),这从区域沉积背景无法合理解释,以至于对该井马四段(奥陶系马家沟组四

段)—马五段地层划分对比出现了较大的分歧。张永生等(2013,2015)将该井最厚的盐岩层段划分为马五₆亚段,而将下伏的马四段下压,地层厚度减薄到106.9 m,将上覆的马五₆亚段增厚至85.1 m。作者有幸参与了张永生教授领衔的“陕北奥陶纪盐盆地钾盐资源调查评价”工作项目,在实际工作中注意到2596.0~2724.8 m这100余米的碳酸盐岩地层与下伏的马四段无论是岩性组合旋回特征,还是地球化学特征都有极大的相似性,从而提出该井马四段存在地层重复的新认识,认为地层结构异常是受塑性盐岩卷入复杂化的逆断层引起,不能忽视该区盐构造对原始沉积的改造作用,需要加强盐构造的研究,从而更好地进行古地理恢复,指导钾盐勘探目标选区。

1 地质概况

镇钾1井位于现今鄂尔多斯盆地伊陕斜坡的主体部位,奥陶纪陕北坳陷中心位置(图1)。陕北坳

注:本文为中国地质调查局地质调查工作项目“陕北奥陶纪盐盆地钾盐资源调查评价”(编号:1212011085516)、“十三五”国家科技重大专项“大型油气田及煤层气开发”(编号:2016ZX05004-006)的成果。

收稿日期:2016-10-28;改回日期:2018-11-05;责任编辑:刘志强。Doi:10.16509/j.georeview.2019.01.003

作者简介:马占荣,男,1979年生,高级工程师,构造地质学专业硕士研究生,现主要从事石油和天然气地质勘探研究工作,Email: mazr_cq@petrochina.com.cn。

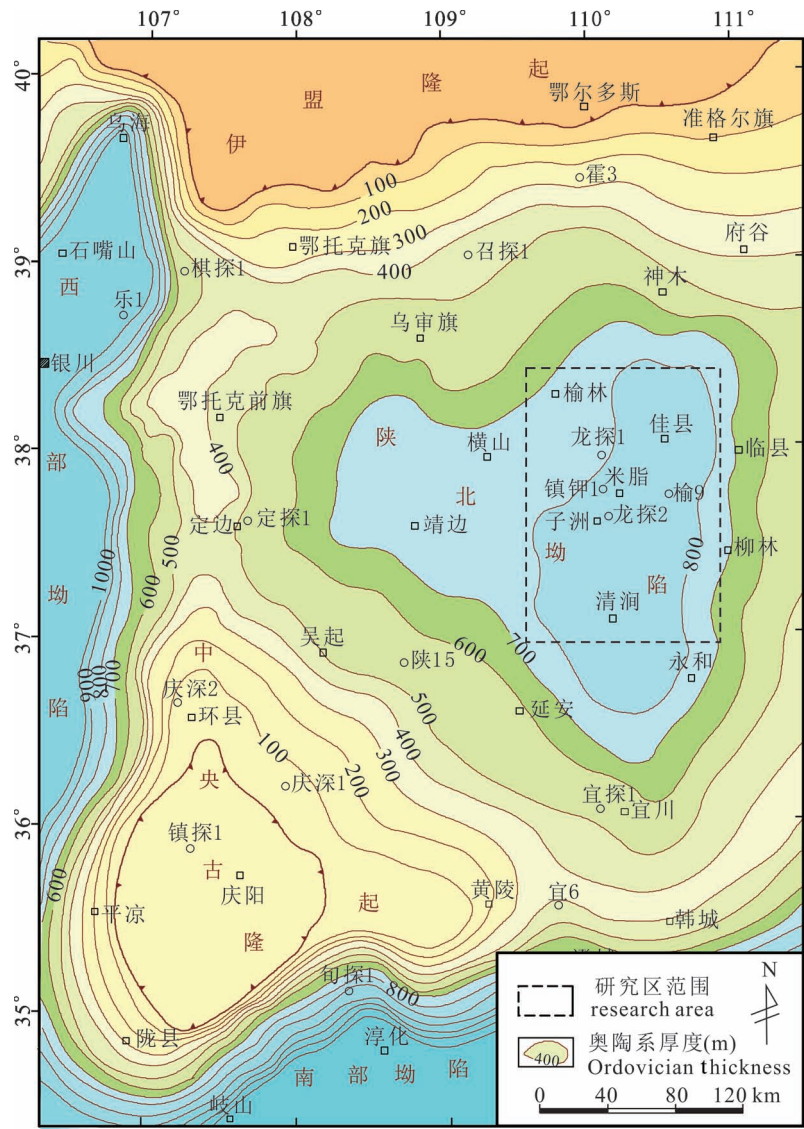


图 1 鄂尔多斯地区奥陶纪构造单元划分图
Fig. 1 Tectonic units of Ordos areas during Ordovician age

陷区奥陶系由中奥陶统马家沟组组成,缺失下奥陶统冶里—亮甲山组,马家沟组超覆沉积于寒武系崑山组或张夏组之上,是一套发育在陆表海台上的蒸发岩和碳酸盐岩交互的旋回性沉积。按照岩性、电性等旋回特征马家沟组从下到上可分为马一段~马六段(图 2),其中马一段、马三段和马五段是干热气候条件下的蒸发旋回,岩性主要以盐岩、硬石膏岩为主,夹膏质白云岩和泥膏质白云岩;马二段、马四段、马六段为相对海侵期,气候湿润,沉积水体较深,岩性以纯碳酸盐岩为主(冯增昭等,1991,1998),仅马二段夹有薄层硬石膏岩、盐岩及泥质白云岩,马四段顶部夹有硬石膏岩薄层,马六段在加里东构造抬升期普遍经历了风化剥蚀,仅在局部地区残留。马

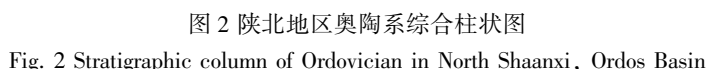
五段是靖边气田的主力目的层段,研究最为详细,按照短期旋回、岩性及电性特征可进一步细分为马五₁₀~马五₁,共 10 个亚段,其中马五₁₀、马五₈、马五₆、马五₄为短期蒸发旋回,以蒸发岩沉积为主,马五₉、马五₇、马五₅为蒸发旋回间歇的短期海侵期,以较纯碳酸盐岩沉积为主,马五₄以后发育蒸发台地高频旋回,为白云岩夹泥膏质白云岩的地层,不再发育盐岩地层。

纵向上,膏盐岩层主要分布在马一段、马三段、以及马五段的马五₁₀、马五₈、马五₆和马五₄亚段(图 2),陕北盐洼中心地区盐层总厚度可达 300 m 以上。在马家沟组 6 个层段的含盐地层中,无论是盐岩单层厚度,还是累积厚度,马五₆亚段都是最厚的,在陕北盐洼地区普遍大于 100 m,且发现了含钾矿层,因而是钾盐勘探的最有利层位(刘群等,1997;陈郁华等,1998;杨全喜和李江,1993;袁鹤然等,2010;陈文西和袁鹤然,2010;郑绵平等,2010,2012;张永生等,2013,2014,2015)。

按照陆表海蒸发浓缩最后成钾的思路,马五₆盐洼中心无疑是寻找钾盐最有利的区域。在中国地质调查局“钾盐资源调查评价工作项目”《陕北奥陶纪盐盆地钾盐资源调查评价》支撑下,由中国地质科学院组织,长庆油田分公司勘探开发研究院的参与下,经过多次反复论证,于 2010 年最终确定了第一口钾盐基准井—镇钾 1 的位置,地震预测马五₆厚度最大的区域。该井位于陕西省米脂县杜家石沟镇,于 2011 年 6 月开钻,同年 10 月完钻,是鄂尔多斯盆地内第一口奥陶系全取芯的探井,取芯 53 次,累计进尺 900.4 m,岩芯长 887.5 m,取芯收获率 98.6%,获得了大量的岩芯信息,为地质研究提供了基础。

2 地层层序的异常

镇钾 1 在 2520.0~2760.0 m 井段地层层序出现了与区域地质构造、沉积背景不相符合的岩性组合特征。钻前按照同生正断层模式预测该段地层应该是马五₆亚段的局部同生洼陷区,是卤水汇聚的区



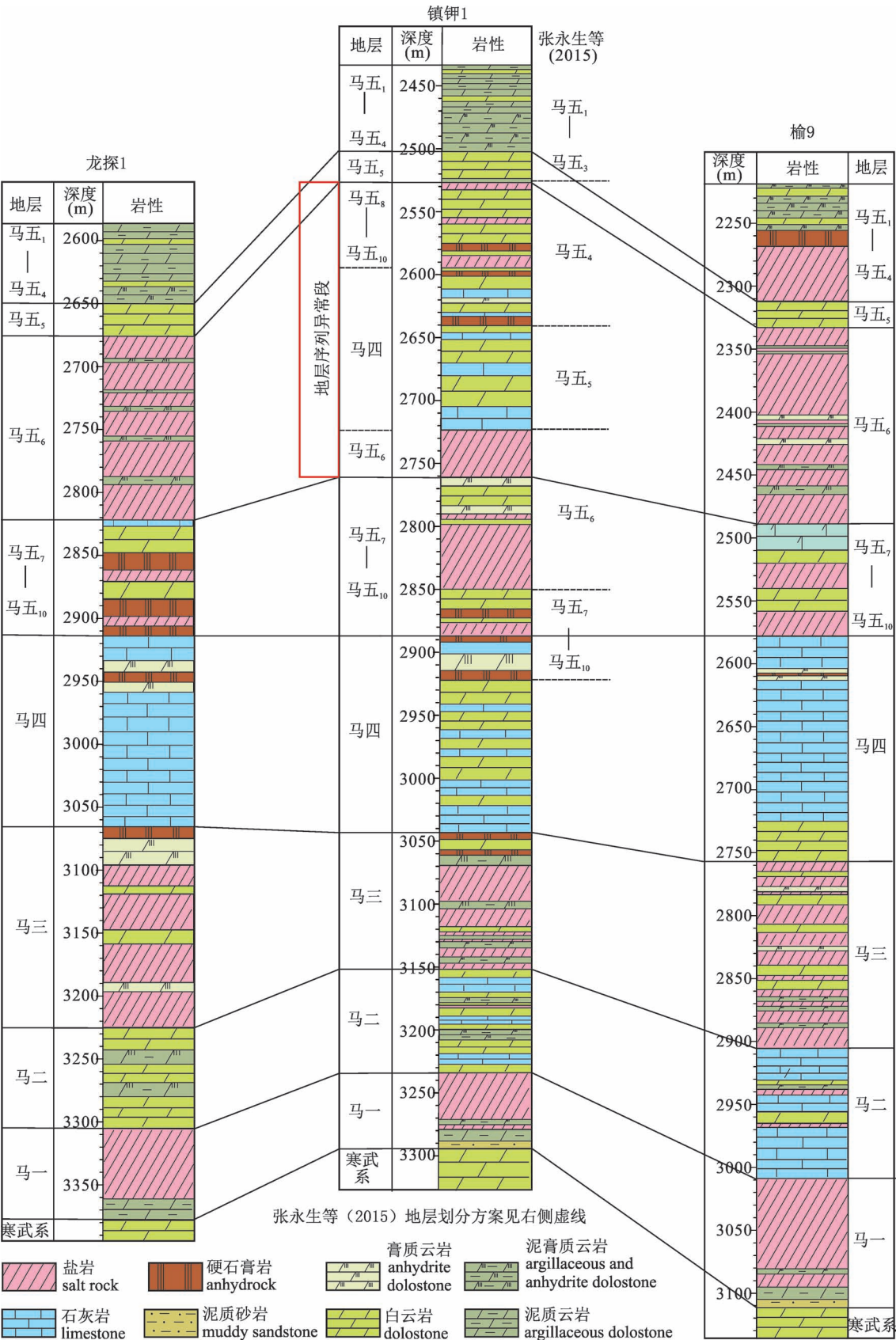


图 3 陕北盐坳龙探 1—镇钾 1—榆 9 井奥陶系地层对比剖面

Fig. 3 Stratigraphic correlation diagram of Ordovician in North Shaanxi depression

域,地层岩性应该以盐岩为主,但实钻表明该段地层以碳酸盐岩为主(图 3)。众所周知,鄂尔多斯盆地奥陶纪时为大华北陆表海台地的一部分,而陆表海最典型的特征就是旋回性和纵向上层序的相似性,往往几十公里,甚至数百公里都可以对比。陕北地区处在一个相对低洼的沉积中心,沉积地层结构应该最为稳定,旋回特征最为清晰,如之前钻探的榆 9、镇川 1、龙探 1 等井(图 3)。镇钾 1 井“马五₆”岩性出现如此大的差异,用沉积学原理是解释不通的,必然有其他因素起作用,而构造因素是最可能造成这种变化的。

3 岩性、电性旋回特征的相似性

我们把镇钾 1 井“马五₆”异常层序段(2520.0~2760.0 m)的中下部层段(2596.0~2724.8 m)和马四段(2887.2~3015.6 m)放在一起进行对比(图 4),发现其地层岩性组合特征具有惊人的相似性,其下部均为纯碳酸盐岩,石灰岩与白云岩交互发育;上部以白云岩为主,夹 3 层硬石膏层。纵向上岩性变化出现的位置几乎完全一致,说明它们本来就是同一套地层,只是由于构造的因素而发生了地层重复,上部的一段(2596.0~2724.8 m)底部被断层切割而不全,厚度变小,缺少了与下部层段 3015.6~3043.2 m 相对应的地层,严格来说属于异地或准原地系统;下部的一段(2887.2~3043.2 m)是马四段的正常层序,系原地沉积系统,其顶底界面都保存完好,地层厚度与区域变化趋势吻合,与邻井厚度相一致,与陆表海大的沉积背景相符。张永生等(2015)将 2596.0~2724.8 m 这段地层上部含硬石膏岩段划为马五₄亚段,而将下部 2639.7~2724.8 m 厚达 85.1 m 的碳酸盐岩层段划归马五₅亚段是非常牵强的。众所周知马五₅“黑腰带”纯净碳酸盐岩地层是鄂尔多斯盆地中东部地区奥陶系最为稳定的一套标志层,厚度只有 20~30 m,其顶底部均为含泥质的不纯碳酸盐岩或膏盐岩,这一点他们也承认。镇钾 1 井周边已有 11 口天然气探井钻穿马五₅亚段钻达马五₆亚段,这些探井马五₅厚度均不超过 30 m(图 5)。镇钾 1 井距离米 2 井仅 2 km,距离镇川 1 井和米 1 井也仅有 8 km,在如此短的距离内一个稳定的标志层厚度不可能出现巨幅的波动,特别是在陆表海沉积环境,出现马五₅厚度 85 m 的现象要么是存在地层重复,要么就是划分方案有问题。作者通过和该井周边米 2、镇川 1 等井的精细对比发现,镇钾 1 井马五₁—马五₅小层旋回特征清楚,不存在马五₅重复

的情况,实际上该井马五₅地层仅有 22.8 m 厚(2502.0~2524.8 m),仅相当于张永生等(2015)所划马五_{1~3}下部的层段。如图 6 所示,镇钾 1 井和邻近的米 2、镇川 1 井马五₃—马五₅无论是岩性旋回还是电性曲线,都可以精确的对比,如马五₅近于平直的、极低的自然伽马曲线(*GR*)反映碳酸盐岩几乎不含泥质,马五₄底部高 *GR* 的含凝灰岩层段和顶部薄层纯白云岩层段。另外,张永生等(2015)所划马五₇—马五₁₀亚段也是与邻近探井相矛盾的(图 3),他们误将马四段上部的含硬石膏层段划分为马五₁₀亚段,详细对比后就会发现龙探 1 井、榆 9 井在相应的层段均有含硬石膏层段出现(图 3),他们将龙探 1 井的含硬石膏层段忽略了(张永生等,2015,原图 2)。造成马五₄和马五₅地层误划的最主要原因是不愿意承认马四段重复的事实,不接受该区有逆断层存在的推断,而坚持原地沉积的观点。

4 碳、氧同位素特征的相似性

将镇钾 1 井 2596.0~2724.8 m 和 2887.2~3015.6 m 上下两个不同深度段按照岩性组合进行对齐后,对比各自实测 PDB 标准碳氧同位素数据(图 7)发现,纵向上两个深度段碳氧同位素变化趋势是相似的,特别是碳同位素在几个关键的偏移位置(2618.0~2620.0 m 和 2910.0~2912.0 m; 2678.85 m 和 2912.6 m)二者几乎一致,说明它们在纵向演化过程中岩性相似,所处的沉积环境是一致的或至少是相似的,因为它们本来就是同一层位的地层。

5 地震剖面反射特征

由于盐岩和碳酸盐岩之间存在较大的密度差(约 0.5 g/cm³),地震波经过二者之间的岩性界面时就会产生较大的波阻抗,从而在地震剖面上形成较强的反射界面。在陕北坳陷盐洼区,马五₅、马五₆、马五₇和马四段几个层位的底界面是重要的岩性转化界面,存在明显的波阻抗差异,在地震剖面上这些界面具有强反射特征,连续性好,便于追踪对比。其中马五₅底界、马五₇底界和马四段底界为强的波峰,马五₆底界为强的波谷(图 8)。根据钻后层位标定结果,镇钾 1 井区构造复杂,在其西侧存在明显的地层变形和错断(图 8),在断裂带的西翼,马四段底界上翘,向东抬升并有和东侧马五₆底界对接的趋势。断裂带内深部(马四段及以下层位)层位有错乱和上拱的迹象,反映出复杂的构造形态。显然,

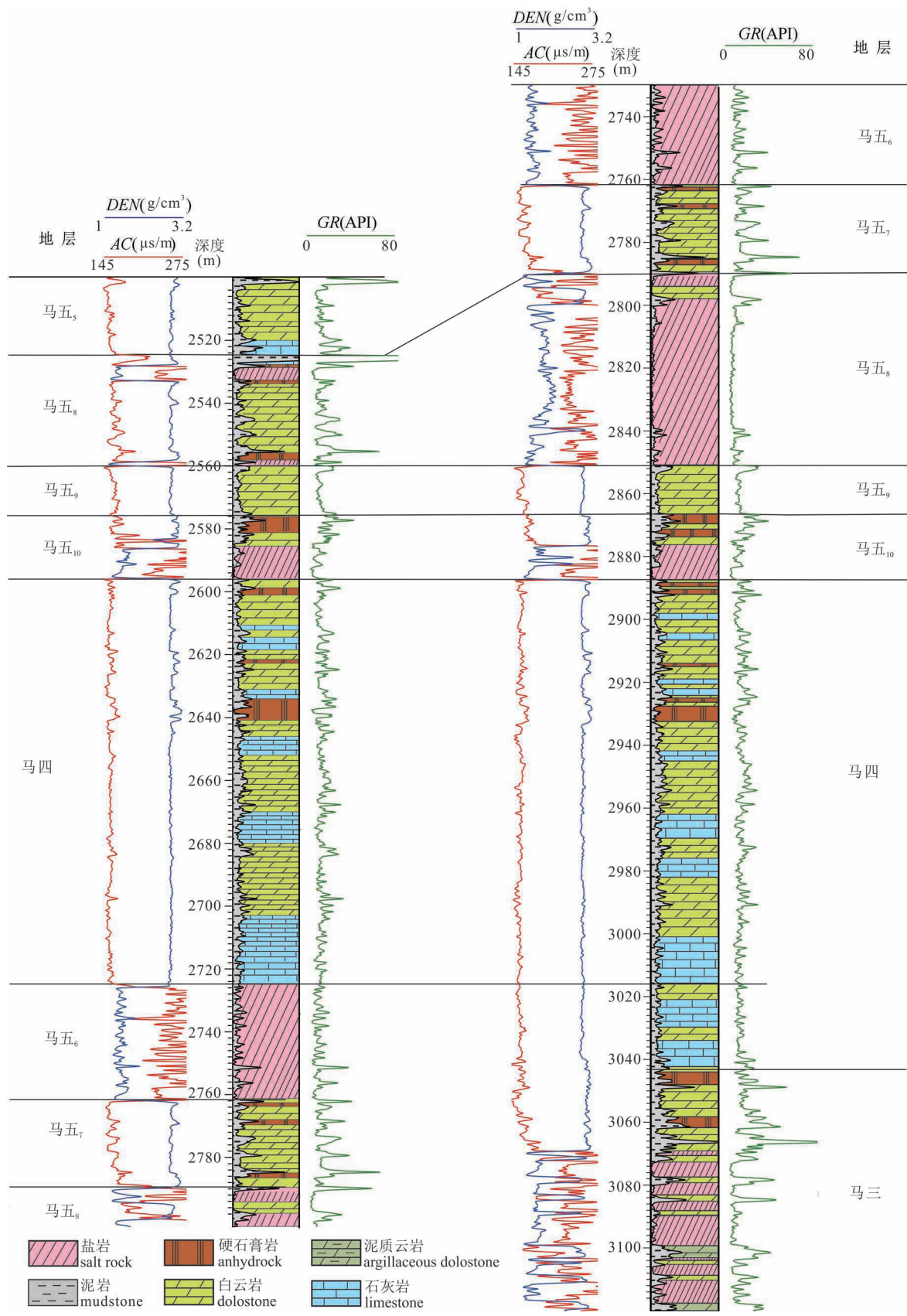


图 4 陕北镇钾 1 井马四重复段岩性对比剖面

Fig. 4 Correlation diagram of the duplicated stratigraphy of O_2m^4 , the Well Zhenjia-1

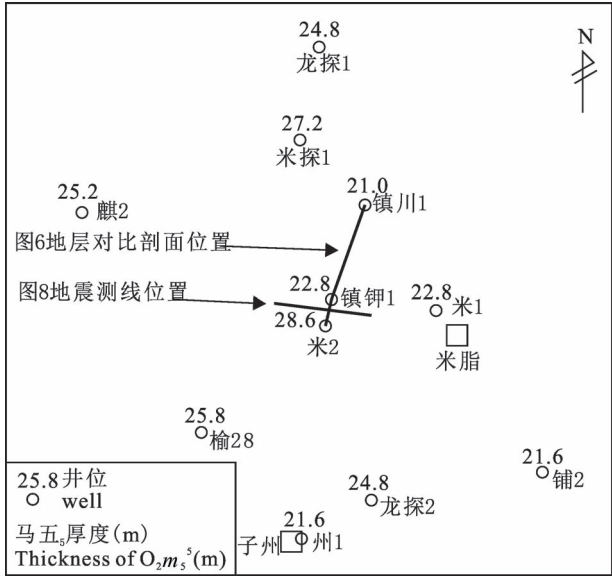


图 5 陕北镇钾 1 井周边钻穿马五₅探井分布图

Fig. 5 Wells distribution of O₂m₅⁵ in the Well Zhenjia-1 adjacent area

不能简单的用同生正断层模式加以解释,可能有塑性的盐岩层段参与了构造变形而复杂化。在断裂带东侧镇钾 1 井所处位置,马五₅底部和马五₆底界之间出现局部地层加厚,如前所述,这是一套极为异常的地层序列 (2520.0 ~ 2724.8 m),在其中下部 (2596.0 ~ 2724.8 m) 出现了和下部马四段正常层序纵向岩性组合几乎完全一致的一段地层,结合地震剖面上西侧的马四段有对接甚至上叠于马五₆之上的现象分析,认为马四段地层重复可能是与逆断层的发育有关。但由于该区仅有二维地震测线,测网

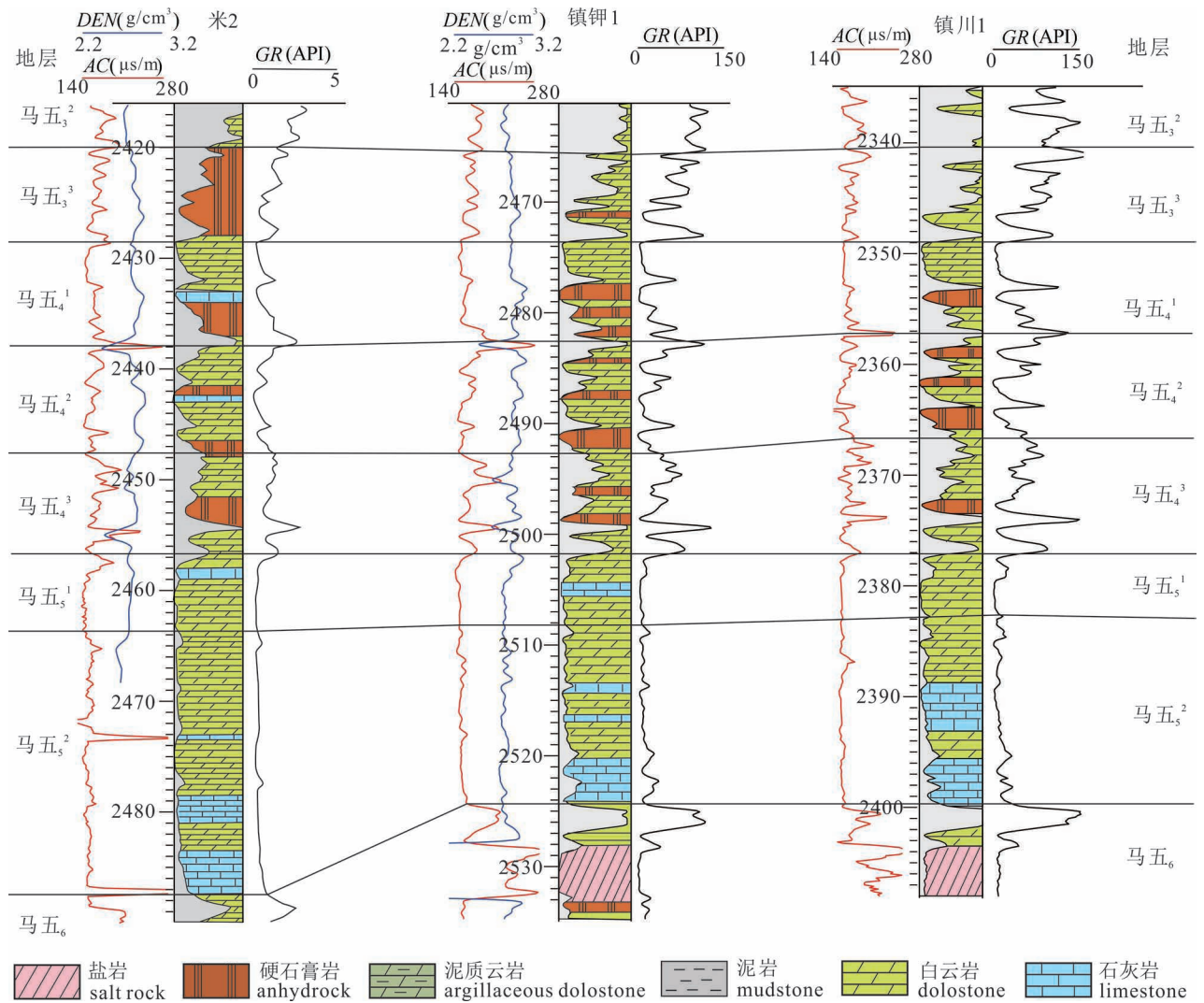


图 6 陕北米 2—镇钾 1—镇川 1 井奥陶系马五上部地层对比剖面图(剖面位置见图 5)

Fig. 6 The correlation column of upper O₂m₅ from the Well Mi-2 to the Well Zhenchuan-1 (section position shown in Fig. 5)

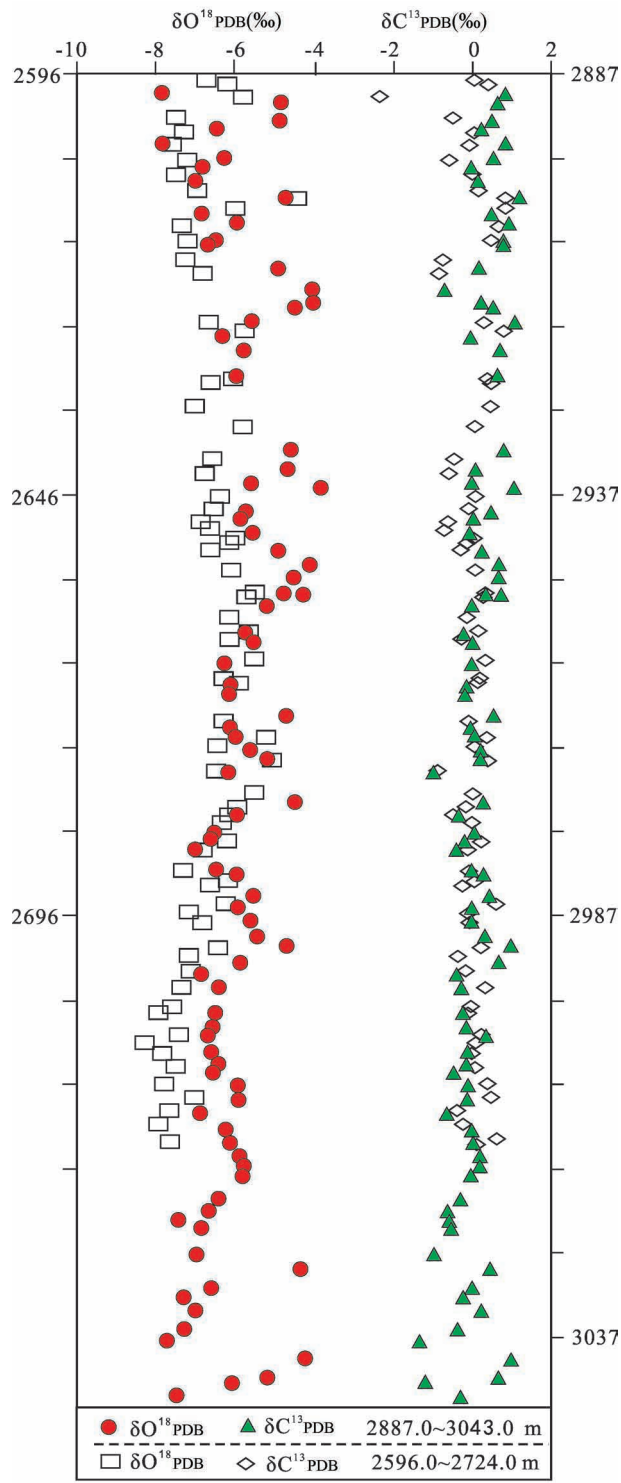


图 7 陕北镇钾 1 井马四重复段碳氧同位素对比剖面
Fig. 7 Carbonic and oxygenic stable isotope correlation column of the duplicated stratigraphy of O_2m_4 , in the Well Zhenjia-1

密度稀疏,镇钾 1 井距离最近的地震测线尚有 750 m,局部构造极其复杂,目前尚缺乏令人信服的构造

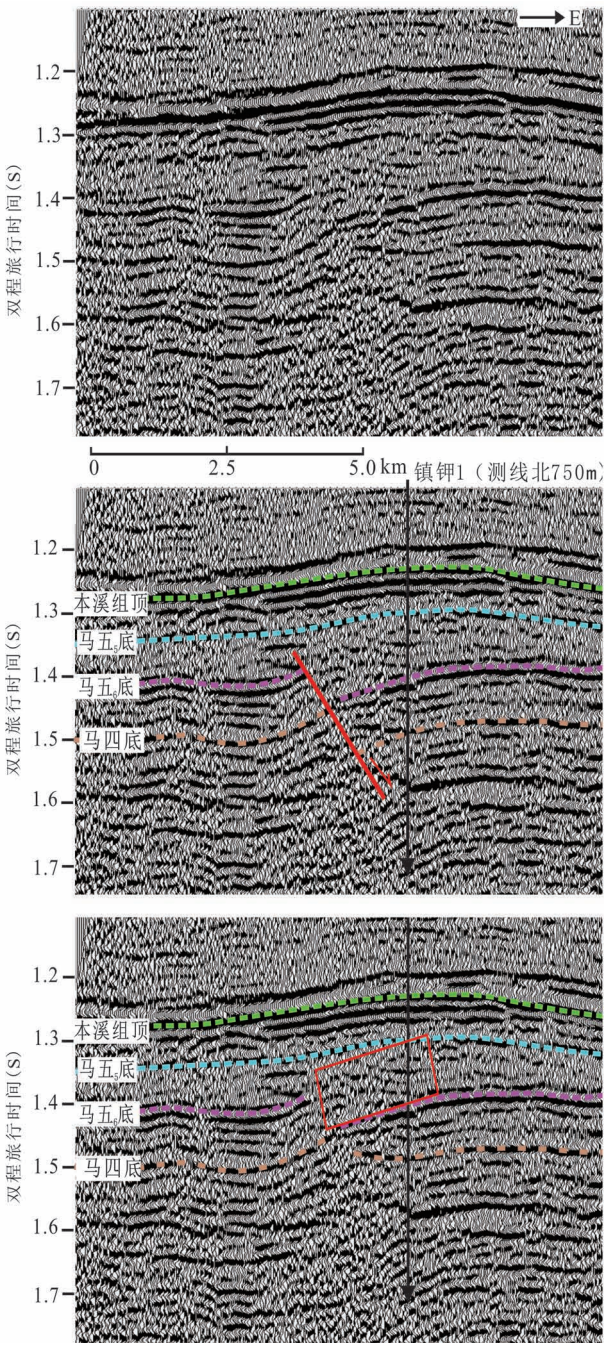


图 8 陕北过镇钾 1 井二维地震剖面

Fig. 8 2D seismic profile across the Well Zhenjia-1
未解释层位(顶部),钻前按同沉积正断层模式解释(中部),钻后进行层位标定但未解释断裂带具体构造样式(底部),剖面位置见图 5
uninterpreted (top) and interpreted (middle & bottom), a synsedimentary normal fault pattern was supposed before drilling(in the middle), an horizon calibration model with fault belt uninterpreted(in the bottom), profile position shown in Fig. 5

解释方案,只能推测这一构造的形成与塑性盐岩的参与有关。

6 讨论

井下地层的重复与缺失是将单井解释的地层剖面与该区的综合柱状剖面对比而得出的(吴元燕和陈碧钰,1998),镇钾1井与陕北地区奥陶系综合柱状图(图2)相比出现了异常的地层序列(2520.0~2760.0 m),其中(2596.0~2724.8 m)和下伏马四段(2887.2~3015.6 m)岩性组合旋回、碳氧同位素纵向偏移特征具有一致性,显示是同一套地层,马四段存在地层重复。和邻井的精细对比说明镇钾1井上覆的马五₁—马五₅和下伏的马四—马一段是原地沉积的正常层序,符合陆表海沉积规律。过井地震反射剖面也显示马五₅底界连续,不存在异常增厚的现象(图8)。张永生等(2015)提出的划分方案是以假定地层不存在重复的原地系统为前提的,先确定厚层盐岩段为马五₆,然后再向上和向下归并其他层位。这样就忽略了马五₅段标志层和马四段顶部含膏岩层的客观存在,从而造成马五₁~马五₅巨厚,以及马四段减薄的假象。尽管本文认识到马四段的重复,也可以将马五₉和马五₁₀小层重复段进行合理的对比(图4),但对于马五₈段的解释仍有不足之处,即(2524.8~2560.0 m)和(2789.4~2851.0 m)不能很好的对比,特别是后者厚度达61.6 m,单层盐岩厚度就52.6 m,而周边探井马五₈地层厚度一般不超过30 m。一种合理的解释是马五₈盐岩(2789.4~2851.0 m)可能有外来盐层的贡献,并非全部是原地沉积,有可能在构造变动过程中断裂带西侧马三段的盐岩有部分嵌入到马五₈造成地层增厚。该井含盐层段马三段和马一段相较龙探1、榆9井有不同程度减薄,而非含盐层段马二段与龙探1、榆9井地层厚度相当(图2),也进一步说明深部马一、马三段盐岩可能发生了塑性变形。

在地下一定深度盐岩表现为塑性特征,容易流动和变形,在盐层发育的地区往往伴随有盐构造的发育(汤良杰等,2005;余一欣等,2011)。陕北地区奥陶系发育多套盐岩层段,天然气探井龙探2井已证实盐洼中心盐构造的存在,造成马五₆亚段减薄。镇钾1井含盐层段马三段厚度的减薄可能与盐构造有关,过井地震剖面显示(图8)该区构造结构非常复杂,难以用简单的正、逆断层模式解释,深部盐岩卷入参与到构造变形的可能性极大。鉴于该区仅有的二维地震剖面尚不能满足精细的构造解释,建议今后有条件开展三维地震工作。

镇钾1井马四段重复的确认,证实地层异常序

列与外来岩体的卷入有关,并非原地沉积体系,这对于重新认识该区的岩相古地理、古构造格局有着极为重要的意义。不能因此否定米脂—子州盐洼中心的分布和该区成钾有利条件,作者认为该区没有盐构造复杂化的同生正断层下降控制的局部盐洼区仍是最为重要的成钾目标区。

7 结论及地质意义

(1)镇钾1井钻前预测的“马五₆”是一套非正常沉积的地层序列,地层岩性组合特征、碳氧同位素纵向变化规律说明这套地层包含了部分马四段,也就是说该井马四段存在地层重复,地震剖面显示可能与盐岩参与的变形有关,但目前资料尚不能合理解释。

(2)镇钾1井马四段重复的确认,有助于正确认识陕北盐洼区马五₆地层充填序列,推动局部构造—沉积相关研究工作的进一步开展,提升对该区成钾条件的再认识,从而合理评价和预测有利成钾洼陷。

致谢:非常感谢张永生教授的帮助,对于不同的观点和认识他能够包容,且支持作者的探讨,并积极鼓励和倡导本文的发表。再次感谢邢恩袁博士提供的本论文的碳氧同位素数据。感谢匿名评审人合理的建议,为本文一些细节的修改和术语的规范提供了帮助。

参 考 文 献 / References

- (The literature whose publishing year followed by a “&” is in Chinese with English abstract; The literature whose publishing year followed by a “#” is in Chinese without English abstract)
- 陈郁华,袁鹤然,杜之岳.1998.陕北奥陶系钾盐层位的发现与研究.地质评论,44(1):100~105.
- 陈文西,袁鹤然.2010.陕北奥陶纪盐盆的区域成矿地质条件分析.地质学报,84(11):1565~1575.
- 冯增昭,陈继新,张吉森.1991.鄂尔多斯地区早古生代岩相古地理.北京:地质出版社:1~190.
- 冯增昭,鲍志东,张永生,谭健,等.1998.鄂尔多斯奥陶纪地层岩石岩相古地理.北京:地质出版社:1~144.
- 刘群,杜之岳,陈郁华,等著.1997.陕北奥陶系和塔里木石炭系钾盐找矿远景.北京:原子能出版社:101~113.
- 史基安,邵毅,张顺存,付翠琴,白海峰,马占龙,吴志雄.2009.鄂尔多斯盆地东部地区奥陶系马家沟组沉积环境与岩相古地理研究.天然气地球科学,20(3):316~324.
- 汤良杰,余一欣,陈书平,万桂梅,金文正.2005.含油气盆地盐构造研究进展.地学前缘,12(4):375~383.
- 吴元燕,陈碧钰.1998.油矿地质学.北京:石油工业出版社:193~195.
- 杨全喜,李江.1993.陕北奥陶系首次发现钾石盐.化工地质,15(4):223~227.
- 余一欣,周心怀,彭文绪,魏刚,吕丁友.2011.盐构造研究进展述评.大

- 地构造与成矿学. 35(2):169~182.
- 袁鹤然, 郑绵平, 陈文西, 张永生, 刘建华. 2010. 陕北成盐盆地奥陶纪成钾找钾远景分析. 地质学报, 84(11):1554~1564.
- 张永生, 郑绵平, 包洪平, 郭庆, 于常青, 邢恩袁, 苏奎, 樊馥, 龚文强. 2013. 陕北盐盆马家沟组五段六亚段沉积期构造分异对成钾凹陷的控制. 地质学报, 87(1):101~109.
- 张永生, 邢恩袁, 陈文西. 2014. 国内外古陆表海盆成钾条件对比—兼论华北成钾的可能性. 矿床地质, 33(5):897~908.
- 张永生, 邢恩袁, 王卓卓, 郑绵平, 施立志, 苏奎, 吴素娟, 桂宝玲, 蒋苏扬, 朱常伟. 2015. 鄂尔多斯盆地奥陶纪马家沟期岩相古地理演化与成钾意义. 地质学报, 89(11):1921~1935.
- 郑绵平, 袁鹤然, 张永生, 刘喜方, 陈文西, 李金锁. 2010. 中国钾盐区域分布与找钾远景. 地质学报, 84(11):1523~1553.
- 郑绵平, 张震, 张永生, 刘喜方, 尹宏伟. 2012. 我国钾盐找矿规律新认识和进展. 地球学报, 33(3):280~294.
- Chen Yuhua, Yuan Heran, Du Zhiyuan. 1998. Discovery and study on Ordovician potash salt horizons in Northern Shaanxi. Geological Review, 44(1):100~105.
- Chen Wenxi, Yuan Heran. 2010. Regional ore-forming geological conditions of the Ordovician northern Shanxi salt basin. Acta Geologica Sinica, 84(11):1565~1575.
- Feng Zengzhao, Chen Jixin, Zhang Jisen. 1991. Paleogeography in the Early Palaeozoic Era in Ordos Area. Beijing: Geological Publishing House: 1~190.
- Feng Zengzhao, Bao Zhidong, Zhang Yongsheng, Tan Jian, et al. 1998. Stratigraphy Petrology Lithofacies Paleogeography of Ordovician in Ordos. Beijing: Geological Publishing House: 1~144.
- Liu Qun, Du Zhiyuan, Chen Yuhua, et al. 1997. Potash salt-searching prospects in Northern Shanxi Ordovician and Tarim Carboniferous. Beijing: Atomic Energy Press: 101~113.
- Shi Ji'an, Shao Yi, Zhang Shuncun, Fu Cuiqin, Bai Haifeng, Ma Zhanlong, Wu Zhixiong. 2009. Lithofacies paleogeography and sedimentary environment in Ordovician Majiagou formation, eastern Ordos basin. Natural gas geoscience, 20(3):316~324.
- Tang Liangjie, Yu Yixin, Chen Shuping, Wan Guimei, Jin Wenzheng. 2005. Major developments of research on salt tectonics in oil—gas-bearing basins. Earth Science Frontiers, 12(4):375~383.
- Wu Yuanyan, Chen Biyu. 1998. Oilfield Geology. Beijing: Petroleum Industry Press, 2nd version 2nd printed, 193~195.
- Yang Quanxi, Li Jiang. 1993. First discovery of sylvite mineral in the Majiagou Formation of Ordovician age in North Shaanxi Province. Geology of Chemical, Minerals, 15(4):223~227.
- Yu Yixin, Zhou Xinhui, Peng Wenxu, Wei Gang, Lü Dingyou. 2011. An Overview on Salt Structures. Geotectonica ET Metallogenia, 35(2):169~182.
- Yuan Heran, Zheng Mianping, Chen Wenxi, Zhang Yongsheng, Liu Jianhua. 2010. Potash prospects in the Ordovician Northern Shaanxi Salt Basin. Acta Geologica Sinica, 84(11):1554~1564.
- Zhang Yongsheng, Zheng Mianping, Bao Hongping, Guo Qing, Xing Enyuan, Su Kui, Fan Fu, Gong Wenqiang. 2013. Tectonic differentiation of $O_2m_5^6$ deposition stage in salt basin, Northern Shaanxi, and its control over the formation of potassium sags. Acta Geologica Sinica, 87(1):101~109.
- Zhang Yongsheng, Xing Enyuan, Chen Wenxi. 2014. Comparative study of palaeo-epicontinental marine basin potash-forming conditions between China and foreign countries with special reference to potash-forming possibilities in North China. Mineral Deposits, 33(5):897~908.
- Zhang Yongsheng, Xing Enyuan, Wang Zhuozhuo, Zheng Mianping, Shi Lizhi, Su Kui, Gui Baoling, Wu Sujuan, Jiang Suyang, Zhu Changwei. 2015. Evolution of lithofacies paleogeography in the Ordos basin and its implication of potash formation. Acta Geologica Sinica, 89(11):1921~1935.
- Zheng Mianping, Yuan Heran, Zhang Yongsheng, Liu Xifang, Chen Wenxi, Li Jinsuo. 2010. Regional Distribution and Prospects of Potash in China. Acta Geologica Sinica, 84(11):1523~1553.
- Zheng Mianping, Zhang Zhen, Zhang Yongsheng, Liu Xifang, Yin Hongwei. 2012. Potash exploration characteristics in China: New understanding and research progress. Acta Geoscientica Sinica, 33(3):280~294.

Discussing on the Duplication of O_2m_4 in the Well Zhenjia-1, Northern Shaanxi Salt Depression, Ordos Basin

MA Zhanrong^{1,2)}, BAO Hongping^{1,2)}, HUANG Jiansong^{1,2)}, YANG Fan^{1,2)}

1) Research Institute of Exploration and Development, Changqing Oilfield Branch, PetroChina Company Limited, Xi'an, 710018;

2) National Engineering Laboratory for Exploration and Development of Low-Permeability Oil & Gas Fields, Xi'an, 710018

Objectives: The lithological association sequence of the predicted $O_2m_5^6$ salt layer in the Well Zhenjia-1, drilled in the North Shaanxi Ordovician Depression, is abnormal that is because the salt rock thickness reduced greatly and replaced by pure carbonate strata more than 100 m. These changes can not be reasonably explained according to sedimentary principle. The purpose of this paper is to find out the stratigraphic position of the anomalous carbonate sequence and make reasonable explanation.

Methods: The comprehensive analysis of lithological association cycle, log cycle, carbon—oxygen isotope correlation and seismic profile is carried out.

Results: Evidences from vertical lithologic cycles and logging cycles, as well as the data of stable isotope of carbon and oxygen revealed that the Fourth member of Ordovician Majiagou formation abbreviated as O_2m_4 was

duplicated, and those carbonates more than 100 m actually resembled with the underlying autochthonous O_2m_4 were allochthonous rocks complicated by tectonic. The seismic profile shows that the repetition of the O_2m_4 may be related to the involvement of the plastic salt rock in the complicated thrust fault. Therefore, the so called " $O_2m_5^6$ salt formation" predicted before drilling in the Well Zhenjia-1 is actually a thrust plate dominated by the O_2m_4 , and the formation of this well is duplicated.

Conclusions: The so called " $O_2m_5^6$ salt formation" of the Well Zhenjia-1 is an anomalous lithological association sequence which is mainly composed of O_2m_4 as wells as other formations. The confirmation of the repetition of the O_2m_4 in the Well Zhenjia-1 contributes to the correct understanding of the filling sequence of the $O_2m_5^6$ strata in the salt depression of Ordos basin, and will promote the further research in the respects of local tectonic and sedimentary .

Keywords: Ordos basin; stratigraphy duplication; O_2m_4 ; $O_2m_5^6$ salt layer; stable isotope of carbon and oxygen; potash

Acknowledgements: This study was funded by China Geological survey work Program - "Potash resources investigation and evaluation in Northern Shaanxi Ordovician Salt Basin " (No. 1212011085516) and National Science and Technology Major project in the "the 13th Five-Year Plan" - "Large oil and gas fields and coal bed gas development" (No. 2016ZX05004-006). Special thanks to professor Zhang Yongsheng for his support and encourage! Professor Zhang Yongsheng and Doctor Xing Enyuan kindly offer the stable isotope data of Well Zhenjia-1, so we thanks again here. We also thanks the anonymous reviewer for his/or her excellent advises to improve the details and accurate the terminologies.

First author: MA Zhanrong, male, born in 1979, senior engineer, majored in Structure Geology, graduated from China University of Petroleum (Shoutheast) in 2005, now mainly engaged in oil and gas geology exploration, Email:mazr_cq@petrochina.com.cn

Manuscript received on:2016-10-28;Accepted on:2018-11-05; Edited by: LIU Zhiqiang

Doi: 10.16509/j.georeview.2019.01.003

《地质论评》新增栏目启事

第 40 届编委会第一次会议讨论决定,《地质论评》自 2019 年起,在原有“问题讨论”、“科技述评”、“研究进展”、“通讯资料”、“消息报道”和“新书介绍”6 个专栏的基础上,新增两个栏目:“专题细解”和“窥斑速报”。

“专题细解”(Theme Paper)专栏为一组对同一专题进行研究的文章,一般由 4~7 篇组成,一般应当包括一篇评述,其余为专题研究或讨论。

“窥斑速报”(Express Letter)专栏快速发表对重要地质问题有关证据或重要地质体的新发现,该栏文章的格式与正式文章完全相同,但前言节、讨论节可以压缩,结论可以不太确定。这一专栏的文章可能仅是一孔之见,但我们希望这样

的文章能起到“窥一斑而知全豹”的功效,故名。一般全文总长度(含图表、参考文献、英文摘要等)不超过 6 个印刷页面。

新增两专栏的稿件将优先刊出,一般可在投稿后的 100 日内见刊。希各位专家组织“专题细解”,赐稿“窥斑速报”。

原先 6 个专栏的名称暂时不变,希望各位专家继续热心支持。特别是,近年来,科技述评和对具体问题进行直接争鸣的稿件稀缺。

Editorial Department: A Notice for 2 New Columns of Geological Review