

文章编号:0253-9985(2011)06-0890-07

塔中北斜坡致密碳酸盐岩盖层特征及其控油气作用

赵越^{1,2,3}, 杨海军³, 刘丹丹^{1,2}, 韩剑发⁴, 张艳萍^{1,2}, 张阳春⁴, 王海江⁴

(1. 中国石油大学 地球科学学院, 北京 102249; 2. 中国石油大学 油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249; 3. 中国石油 塔里木油田 勘探开发研究院, 新疆 库尔勒 841000; 4. 中国石油 塔里木油田 勘探开发部, 新疆 库尔勒 841000)

摘要:塔中北斜坡鹰山组发育大型海相碳酸盐岩凝析气藏, 其上部盖层为良里塔格组3—5段的致密碳酸盐岩。在平面上, 这套盖层基本上覆盖整个塔中北斜坡; 在剖面上, 致密灰岩呈块状分布, 叠置相连, 从而封闭下部鹰山组中的油气。通过对良3~5段致密碳酸盐岩盖层的岩性、厚度以及泥质含量几方面特征的分析, 总结它们的分布规律及其与油气的关系, 进而探讨影响塔中北斜坡这套致密灰岩盖层封闭性的主要因素。其中重点分析了致密灰岩盖层厚度和泥质含量对油气分布的控制作用, 结果显示塔中北斜坡良里塔格组的致密灰岩盖层厚度达到80 m, 泥质含量的自然伽马测井响应值达到20API即可以有有效的封闭油气, 厚度和泥质含量在影响油气封闭性方面具有互补关系。

关键词:封闭性; 盖层; 致密碳酸盐岩; 良里塔格组; 鹰山组; 塔中北斜坡

中图分类号: TE122.1 文献标识码: A

Characteristics of tight carbonate cap rock and its control on hydrocarbon accumulation in the north slope of Tazhong uplift

Zhao Yue^{1,2,3}, Yang Haijun³, Liu Dandan^{1,2}, Han Jianfa⁴, Zhang Yanping^{1,2}, Zhang Yangchun⁴ and Wang Haijiang⁴

(1. College of Geosciences, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

2 State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

3. Petroleum Exploration and Development Research Institute, PetroChina Tarim Oilfield Company, Korla, Xinjiang 841000, China;

4. Exploration and Development Department, PetroChina Tarim Oilfield Company, Korla, Xinjiang 841000, China)

Abstract: Large marine carbonate condensate gas reservoirs occur in the Yingshan Formation in the north slope of Tazhong uplift and their cap rock is tight carbonates in the 3rd–5th member of Lianglitage Formation. The carbonates are distributed widely in the whole north slope of Tazhong uplift, which is massive and is superimposed vertically and connected laterally, sealing the hydrocarbons in the underlying Yingshan Formation. Based on analyses of lithology, thickness and clay content of the tight carbonates, we summarized their distribution patterns and relationships with hydrocarbon accumulation and discussed the control of their thickness and clay content on oil/gas distribution. The study shows that the tight carbonate cap rock in the north slope of Tazhong uplift may be efficient seals when its thickness is equal to or more than 80 m and its clay content GR value is over 20 API. Thickness and clay content can complement each other for sealing capacity.

Keywords: sealing capacity, cap rock, tight carbonate rock, Lianglitage Formation, Yingshan Formation, the north slope of Tazhong uplift

随着天然气勘探的深入以及大型油气田的发现, 盖层的研究越来越受到广大学者的重视。国内对盖层的研究自“九五”以来得到了飞速的发展, 目前用于盖层微观封闭性评价参数的测试技

术已经较成熟^[1-2]。盖层封闭机理日益完善, 并建立了很多关于盖层封闭能力的综合评价方法^[3-4], 盖层对油气运聚成藏的影响也越来越受到重视^[5-9]。盖层的岩石类型很多, 可以分为泥页岩

收稿日期: 2011-01-20。

第一作者简介: 赵越(1985—), 女, 硕士, 油气藏形成与分布。

基金项目: 国家自然科学基金项目(41072102); 中国石油塔里木油田“塔中地区奥陶系碳酸盐岩油气成藏关键事件研究”项目。

类,膏盐岩类、致密灰岩类、煤层等。由于碳酸盐岩本身具有很强的非均质性,其封闭性远不如泥岩和膏盐岩盖层^[10-12]。通过对世界201个大型碳酸盐岩油气田的统计表明,细粒碎屑岩盖层占了51%,蒸发岩盖层占21%,致密碳酸盐岩占20%,我国的碳酸盐岩分布区有 $230 \times 10^4 \text{ km}^2$ ^[13-15],因此,致密碳酸盐岩盖层的研究也是非常重要的。目前,致密碳酸盐岩做盖层方面的研究还相对薄弱,本文通过对塔中北斜坡的奥陶系良里塔格组3—5段致密碳酸盐岩盖层特征的分析,初步探讨了它对油气的控制作用。

1 区域概况

塔里木盆地塔中隆起是一个长期继承性的古隆起,北隔I号断裂带与满加尔凹陷相邻,南邻塘沽孜巴斯坳陷。位于塔中低凸起中部,北西向展布的中央断垒带自晚奥陶世发育至今一直是塔中

地区的制高点^[16],从塔中I号断裂带至中央断垒带之间为塔中北斜坡。截至2010年,塔中地区北斜坡的勘探已取得了很大的成果,主力油气产层为奥陶系^[17]。该区奥陶系存在两套储盖组合,分别为桑塔木组巨厚的泥岩盖层与上奥陶统良里塔格组礁滩复合体之间的储盖组合,以及良里塔格组3—5段的致密灰岩盖层与下奥陶统鹰山组岩溶风化壳之间的储盖组合(图1),本文的研究目标主要为良3—5段致密灰岩盖层。

2 盖层特征

2.1 岩性特征

通过对塔中北斜坡25口井所钻遇的良3—5段岩性的统计发现,该套致密灰岩盖层以含泥灰岩、泥晶灰岩为主,厚度较大,在所钻遇的地层中所占比例较高;其次为粉晶灰岩,另外还含有泥质灰岩、含云灰岩、砂屑灰岩等,但其含量均较小,也

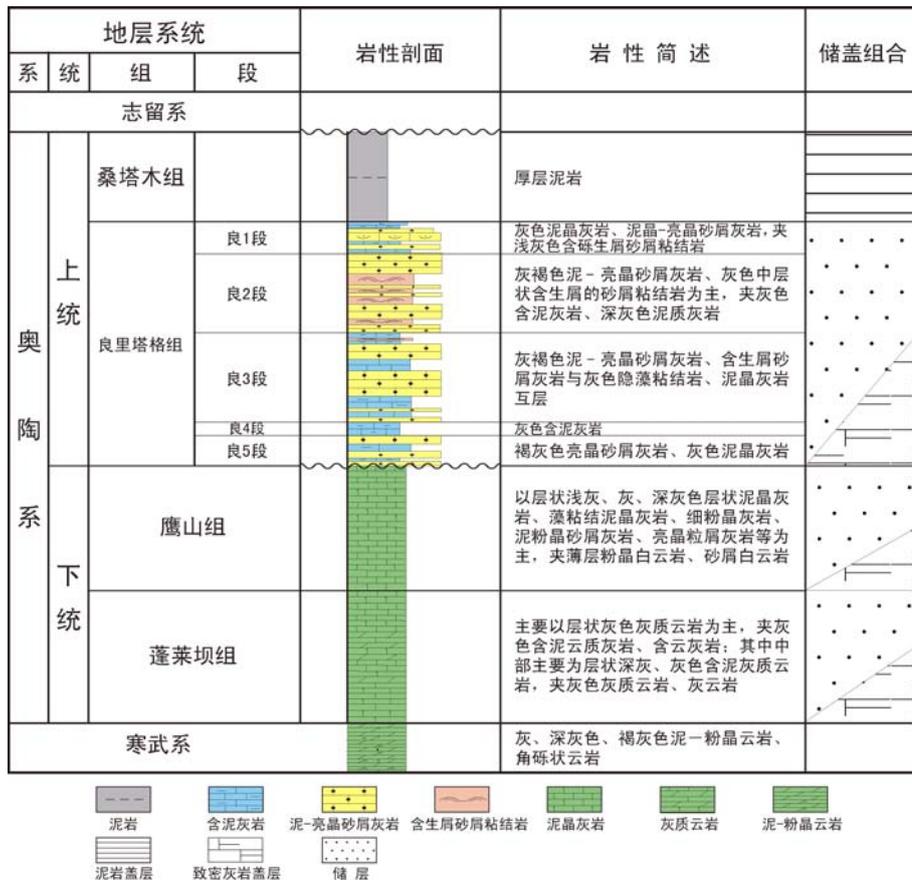


图1 塔中地区奥陶系储盖组合示意图

Fig. 1 Sketch map of the Ordovician reservoir-seal assemblage in Tazhong area

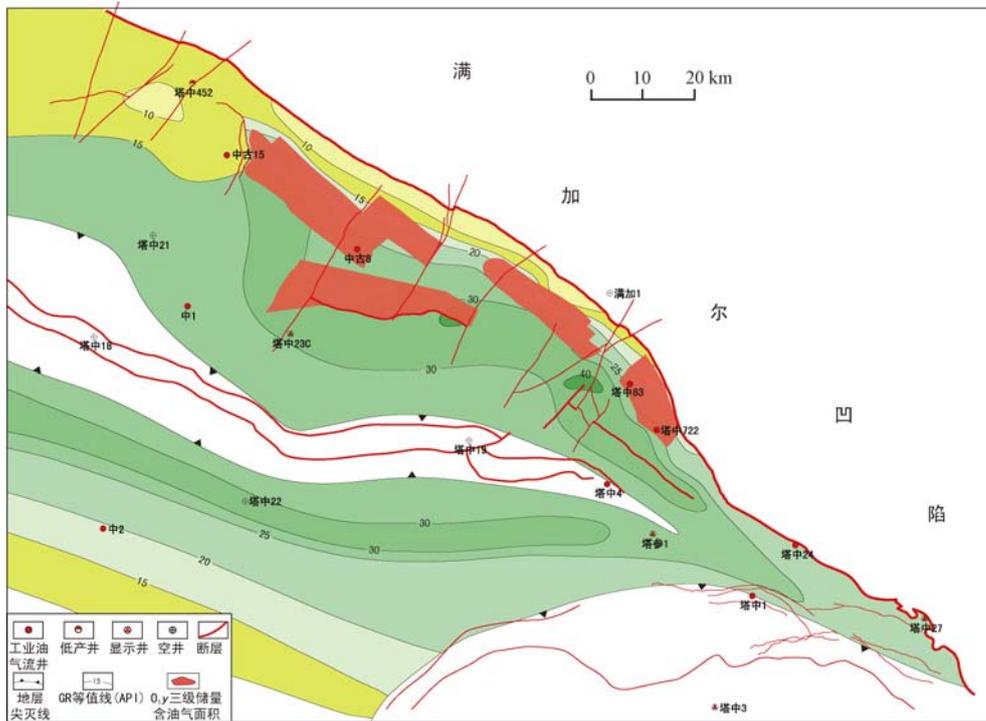


图 2 塔中地区奥陶系良 3—5 段致密灰岩盖层测井响应值等值线

Fig. 2 GR contour of tight limestone cap rock in the 3rd–5th member of the Ordovician Lianglitage Formation in Tazhong area

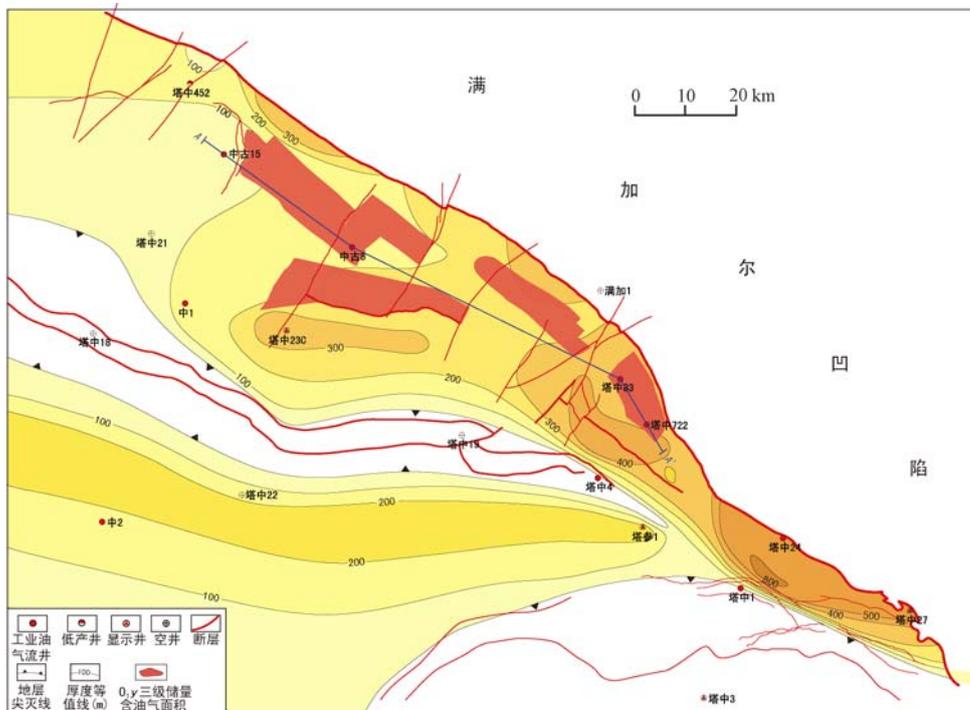


图 3 塔中地区奥陶系良 3—5 段致密灰岩盖层厚度等值线

Fig. 3 Thickness contour of tight limestone cap rock in the 3rd–5th member of the Ordovician Lianglitage Formation in Tazhong area

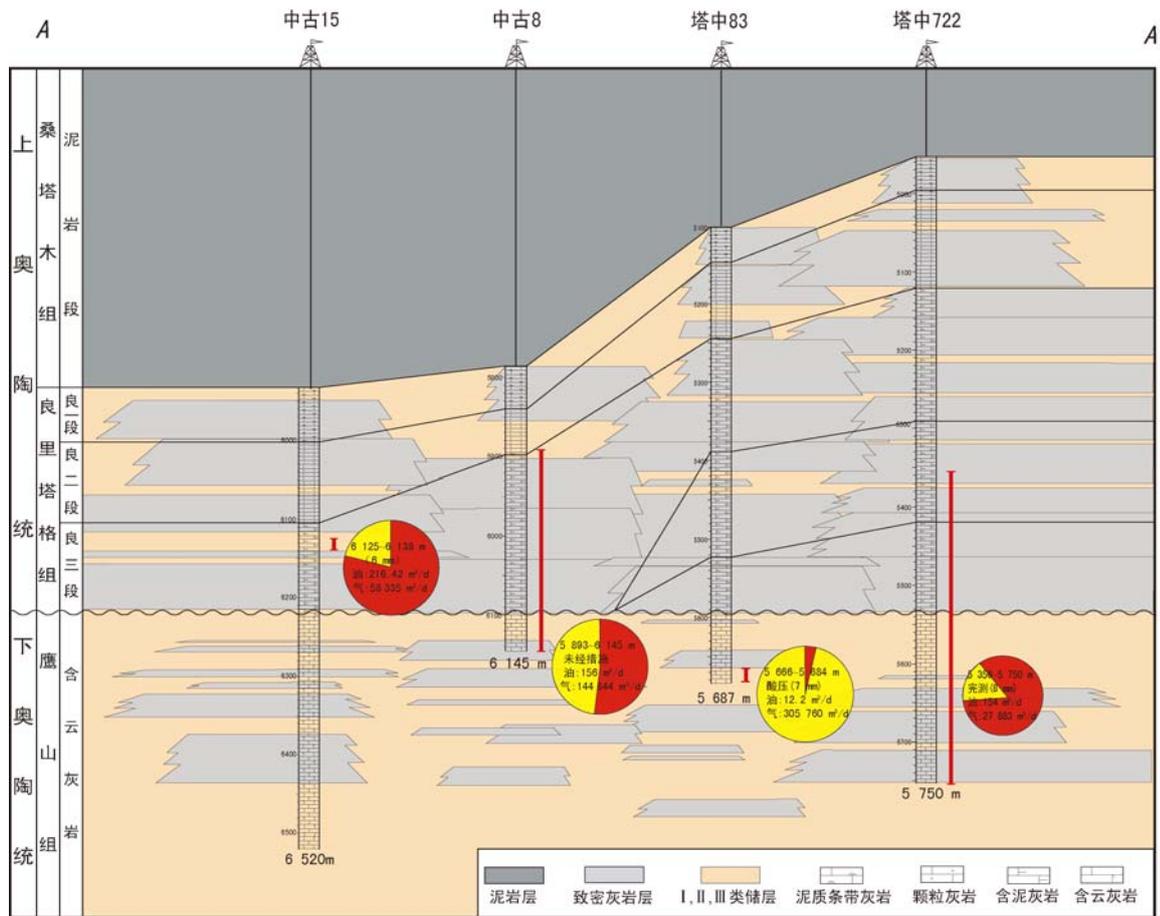


图4 塔中北斜坡奥陶系致密灰岩盖层剖面(剖面位置见图3)

Fig. 4 Profile of the tight Ordovician limestone in the north slope of Tazhong area

只存在于个别井钻遇的盖层段。

致密碳酸盐岩盖层不同于泥岩和膏盐岩盖层,最主要的差别在于致密碳酸盐岩脆性较大而延展性不够^[10]。而良好的延展性正是优质盖层的重要特征之一,那么致密碳酸盐岩盖层中泥质含量的多少是否也能改变其延展性,从而增强其封闭作用呢?本文根据自然伽马测井值可以反映泥质含量的特点,通过统计分析该区52口井良3—5段自然伽马测井值,认为泥质含量分布有一定规律,即塔中北斜坡中古15井西的平台区和塔中I号断裂带附近泥质含量的自然伽马响应值较小,均在15 API以下,向南逐渐变大,最大值位于北斜坡中部北西向一条狭长的区带,自然伽马响应值可达到30~40 API(图2)。

2.2 盖层厚度与展布

本文统计了塔中地区90口井良里塔格组3—

5段的厚度数据,结合测井解释除去其中的储层厚度,并参考沉积相图最终绘制了塔中地区良3—5段致密灰岩盖层厚度等值线(图3)。由图可见,平面上这套致密灰岩盖层基本上覆盖了整个塔中北斜坡,从塔中I号断裂带至中央断垒带厚度逐渐减薄。通过对塔中地区地层构造演化史的研究,该区良里塔格组沉积期间地层发生反转,导致塔中西部大部分区域缺失良4—5段,造成塔中北斜坡良3—5段的致密灰岩盖层呈现东厚西薄的特点。西部厚度主要集中在100~200 m之间,东部厚度多大于400 m,厚度最大处可达到820 m。总体上看,这套致密灰岩盖层在平面上具有“分布广,厚度较大”的特点。又由于碳酸盐岩具有很强的非均质性,因此本文认为剖面上致密灰岩盖层的分布特征为块状分布,横向上彼此相连,纵向上互相叠置(图4),从而起到封闭其下部油气作用。

3 盖层封盖能力的影响因素及其控油气作用

3.1 厚度

厚度是影响盖层封盖能力的一个重要因素,厚度越大,横向上延伸越远,也更容易形成一定的展布面积^[18]。另外,盖层厚度对于天然气的封闭起到至关重要的作用。由于塔中北斜坡鹰山组主要是以凝析气藏为主,通过统计塔中北斜坡26口工业油流井和油气产量、气油比和其所钻遇的良3—5段致密灰岩盖层厚度之间的关系,发现致密灰岩盖层厚度达到80 m即可以较好的封闭油气,厚度和气油比有一定的正相关性,致密灰岩盖层厚度越大,气油比越高,即盖层厚度越大,封盖天然气的能力越好。但是鉴于“碳酸盐岩非均质性强、延展性差”的这种特性,厚度在影响盖层封盖能力各因素中所占的比重要小于泥岩及膏盐岩盖层。

3.2 泥质含量

本文通过对中古15井西井区和中古8井区良3—5段致密碳酸盐岩盖层的对比研究,认为泥质含量是影响其封闭能力的一个很重要的因素。这两个井区良里塔格组同样缺失良4—5段,只有良3段地层做鹰山组的直接盖层,盖层厚度都在80~200 m。但油气分布层位却截然不同,中古8井区油气均分布在鹰山组,即其上部良3段致密灰岩起到了很好的封闭作用,而中古15西井区油气基本都在良3段顶部,鹰山组没有油气,那么来

自深部的油气很可能是经过良3段,在顶部聚集的。研究发现,这两个井区良3段的主要区别就在于泥质含量的不同,中古15井西井区良3段灰岩GR值均小于15 API,而中古8井区都在20API以上。那么,泥质含量的不同导致中古8井区良3段灰岩可以作为有效盖层,而中古15井西井区的良3段就不能作为有效盖层,从而形成了油气分布层位的差异性。因此,在致密灰岩盖层达到一定厚度的基础上,泥质含量是决定其能否成为有效盖层、影响其封闭性的一个重要因素。

另外,通过塔中北斜坡工业油流井所钻遇的良3—5段致密灰岩盖层的泥质含量可以看出,具有有效封闭性的致密灰岩段的GR值均大于20API,油气产量和气油比并未随泥质含量的增加而增大。从致密碳酸盐岩盖层的厚度和泥质含量这两个因素共同作用控制油气分布的角度分析,厚度稍大、泥质含量略小,和厚度较小、泥质含量略大都可以封闭同样的油气(图5)。因此,我们初步认为对致密碳酸盐岩盖层封闭性的影响,厚度和泥质含量具有一定的互补关系。

3.3 断裂

塔中地区奥陶系良3—5段断裂虽然非常发育,但整体上看,下奥陶统鹰山组的油气主要还是在断裂附近比较富集,高产油气井都分布在走滑断裂和塔中10号逆冲断裂带两侧,可见良3—5段致密灰岩中断裂的发育对油气封堵并未产生很大的破坏作用,更多的是发挥着输导油气的作用。但是谈到盖层封闭性,断裂的影响是毋庸置疑的,

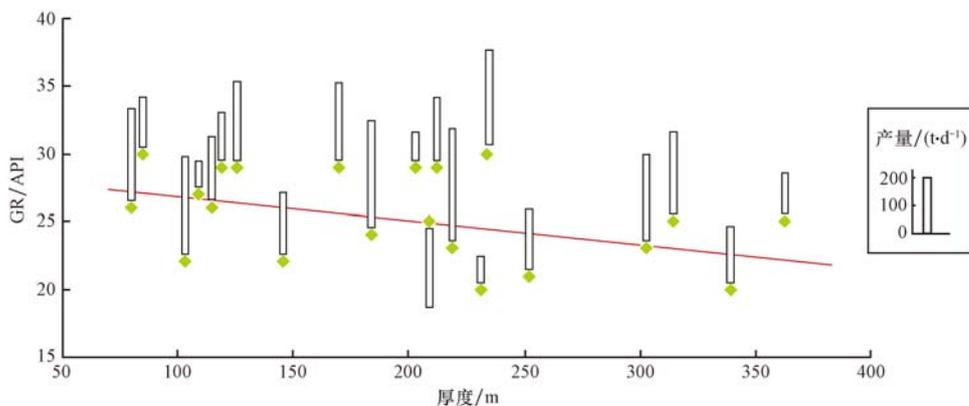


图5 塔中地区良3—5段致密灰岩盖层厚度、泥质含量与油气产量关系

Fig. 5 Correlation of oil/gas production with thickness and clay content of the tight limestone cap rock in the 3rd-5th member of the Ordovician Lianglitage Formation in Tazhong area

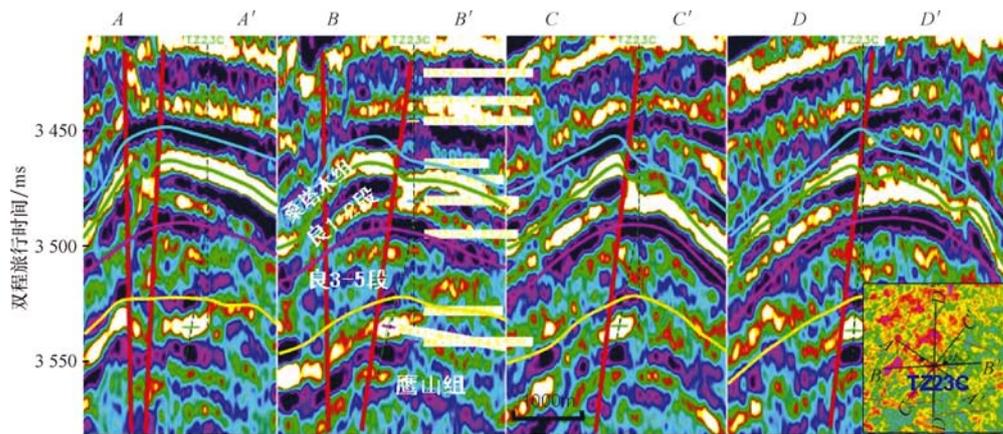


图6 过塔中23C井“米字”地震剖面

Fig. 6 Seismic profile tied to Tazhong-23C Well

3类最主要的盖层岩类中,膏盐岩具有很强的可塑性,断裂在膏盐岩层多形成滑脱断裂;而泥岩可塑性也较好,并且在断裂处具有“涂抹效应”^[19];相比之下,致密碳酸盐岩盖层对断裂的响应更加敏感。另外,碳酸盐岩中断裂也相对更发育,因此断裂的分析是研究致密碳酸盐岩盖层封闭性的一个不容忽视的方面。以塔中23C井为例,试油显示气微量,液87 m³/d,该井位于局部构造高点,地震上具有很好的“串珠状”响应^[20],并且其东北和北西向约15 km处都有油气产出,因此其构造、储层以及油源似乎都没有问题。并且该井钻遇的良3—5段致密灰岩盖层厚度达到336 m,自然伽马测井值为31 API,具有较好的封盖条件。但该井附近存在一条近南北向的走滑断裂,这条断裂从深部一直断穿鹰山组的直接盖层良3—5段致密灰岩段和上部的区域性盖层桑塔木组泥岩(图6)。很有可能是这条大断裂破坏了盖层的封闭性,从而导致油气的散失。塔中北斜坡良里塔格组的断裂较发育,有一些断裂对盖层的封闭性起到了绝对的破坏作用,但也有一些盖层内部的小断裂可能对其封闭性没有影响。不同厚度和泥质含量的致密灰岩盖层可以被多大级别的断裂破坏,以及不同样式的断裂是否会对盖层封闭性的破坏程度有所不同还需要我们进一步的研究。

3.4 火山热液作用

碳酸盐岩地层中,火山活动可以改善储层质量,为油气运移提供通道;火山侵入体还可以起到侧向遮挡油气的作用^[21]。但从碳酸盐岩作为盖层

封盖下部油气的角度来看,火山活动也可以破坏油气成藏。塔中地区发育三期火山运动,第一期震旦纪晚期到寒武纪早期、第二期早奥陶纪,第三期早二叠纪末^[22]。由于第一期火山运动时期奥陶系还没有沉积,第二期早奥陶纪的火山运动分布比较局限,仅在塔中18井发现玄武岩,对塔中地区影响最大最广泛的应属第三期。这一期火山运动对塔中西部地区奥陶系油气藏进行调整改造,目前已在塔中45附近发现了多层的火山活动伴生的萤石化碳酸盐岩储层^[23-24],正是这一期火山运动导致塔中西部良3段不像中东部一样致密,不能作为下部鹰山组油气储层的盖层。

4 结论

1) 塔中北斜坡鹰山组顶部的良3—5段致密碳酸盐岩盖层以含泥灰岩和泥晶灰岩为主,平面上分布广泛,厚度较大,纵向上呈块状分布,彼此叠置相连。

2) 塔中北斜坡良3—5段致密碳酸盐岩盖层厚度大于80 m,泥质含量的自然伽马响应值大于20 API就可以较好的封盖油气,盖层的厚度和泥质含量在封闭油气时可以起到互补的作用。

3) 盖层的厚度和泥质含量是影响致密碳酸盐岩盖层封闭性的最主要因素,盖层厚度越大,泥质含量越高,封闭性越好。另外,断裂和火山热液作用对于致密碳酸盐岩盖层的封闭性有一定的破坏作用,因此,对于致密碳酸盐岩盖层封闭性的研究要从多方面综合考虑。

参 考 文 献

- [1] 黄志龙,郝石生. 盖层突破压力及排替压力的求取方法[J]. 新疆石油地质,1994,15(1):163-166.
Huang Zhilong, Hao Shisheng. A method of estimating breakthrough pressure and displacement pressure of caprock[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 1994, 15(1): 163-166.
- [2] 孙丽丹,常贵钊,阎树汶. 盖层突破压力的计算方法及应用[J]. 测井技术,2004,28(4):296-318.
Sun Lidan, Chang Guizhao, Yan Shunwen. Calculation method of caprocks breakthrough pressure and its application[J]. Well Logging Technology, 2004, 28(4): 296-318.
- [3] 董忠良,张金功,王永诗,等. 油气藏封盖机制研究现状[J]. 兰州大学学报(自然科学版),2008,44:49-51.
Dong Zhongliang, Zhang Lijun, Wang Yongshi, et al. Review on study of seal mechanism[J]. Journal of Lanzhou University (Natural Sciences), 2008, 44: 49-51.
- [4] 付广,陈章明,姜振学. 盖层封堵能力评价方法及其应用[J]. 石油勘探与开发,1995,22(3):46-50.
Fu Guang, Chen Zhangmin, Jiang Zhenxue. Evaluation of the sealing ability of caprock and its application[J]. Petroleum exploration and development, 1995, 22(3): 46-50.
- [5] 游秀玲. 天然气封盖层评价方法探讨[J]. 石油与天然气地质,1991,12(3):1-10.
You Xiuling. A study of evaluation methods of cap rock in sealing gas[J]. Oil & Gas Geology, 1991, 12(3): 1-10.
- [6] 郑朝阳,张文达,朱盘良. 盖层类型及其对油气运移聚集的控制作用[J]. 石油与天然气地质,1996,17(2):96-101.
Zhen Chaoyang, Zhang Wenda, Zhu Panliang. Cover types and their control over hydrocarbon migration and accumulation[J]. Oil & Gas Geology, 1996, 17(2): 96-101.
- [7] 周兴熙. 源—盖共控论述要[J]. 石油勘探与开发,1997,24(6):4-7.
Zhou Xingxi. Essentials about hydrocarbon distribution controlled by source and seal[J]. Petroleum Exploration and Development, 1997, 24(6): 4-7.
- [8] 付广,薛永超. 盖层与源岩的时空配置关系对油气运聚成藏的控制作用[J]. 矿物岩石,2001,21(2):56-61.
Fu Guang, Xu Yongchao. Controlling effect of match relation between caprock and source rock in time and space on formation of oil or gas pools[J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 2001, 21(2): 56-61.
- [9] 吕延防,付广,于丹. 中国大中型气田盖层封盖能力综合评价及其对成藏的贡献[J]. 石油与天然气地质,2005,26(6):743-746.
Lv Yanfang, Fu Guang, Yu Dan. Comprehensive evaluation of sealing ability of caprock in China's large and medium gas fields and their contribution to gas accumulation[J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(6): 743-746.
- [10] 杨传忠,张先普. 油气盖层力学性与封闭性关系[J]. 西南石油学院学报,1994,16(3):7-11.
Yang Chunzhong, Zhang Xianpu. Relationship between dynamics of caprocks and characteristics of seal[J]. Journal of Southwestern Petroleum Institute, 1994, 16(3): 7-11.
- [11] 胡国艺,汪晓波,王义凤,等. 中国大中型气田盖层特征[J]. 天然气地球科学,2009,20(2):164-165.
Hu Guoyi, Wang Xiaobo, Wang Yifeng, et al. Cap rock characteristics of medium and large gas fields in China[J]. Natural Gas Geoscience, 2009, 20(2): 164-165.
- [12] 金之钧,周雁,云金表,等. 我国海相地层膏盐岩盖层分布与近期油气勘探方向[J]. 石油与天然气地质,2010,31(6):715-724.
Jin Zhijun, Zhou Yan, Yun Jinbiao, et al. Distribution of gypsum-salt cap rocks and near-term hydrocarbon exploration targets in the marine sequences of China[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(6): 715-724.
- [13] 江怀友,宋新民,王元基,等. 世界海相碳酸盐岩油气勘探开发现状与展望[J]. 海洋石油,2008,28(4):9-10.
Jiang Huaiyou, Song Xinmin, Wang Yuanji, et al. Current situation and forecast of the world's carbonate oil and gas exploration and development[J]. Offshore Oil, 2008, 28(4): 9-10.
- [14] 白国平. 世界碳酸盐岩大油气田分布特征[J]. 古地理学报,2006,8(2):248-249.
Bai Guoping. Distribution patterns of giant carbonate fields in the world[J]. Journal of Palaeogeography, 2006, 8(2): 248-249.
- [15] 吕修祥,金之钧. 碳酸盐岩油气田分布规律[J]. 石油学报,2000,21(3):8-13.
Lv Xiuxiang, Jin Zhijun. Distribution patterns of oil-gas fields in the carbonate rock[J]. Acta Petrolei Sinica, 2000, 21(3): 8-13.
- [16] 贾承造,魏国齐,姚慧君,等. 中国塔里木盆地构造特征与油气[M]. 北京:石油工业出版社,1997:1-126.
Jia Chengzao, Wei Guoqi, Yao Huijun, et al. Structural characteristics and hydrocarbon in Tarim basin of China[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997: 1-126.
- [17] 韩剑发,于红枫,张海祖,等. 塔中地区北部斜坡带下奥陶统碳酸盐岩风化壳油气富集特征[J]. 石油与天然气地质,2008,29(2):168-173.
Han Jianfa, Yu Hongfeng, Zhang Haizu, et al. Characteristics of hydrocarbon enrichment in the Lower Ordovician carbonate rock weathering crust on the northern slope zone of Tazhong area[J]. Oil & Gas Geology, 2008, 29(2): 168-173.
- [18] 付广,张发强,吕延防. 厚度在泥岩盖层封盖油气中的作用[J]. 天然气地球科学,1998,9(6):20-25.
Fu Guang, Zhang Faqiang, Lv Yanfang. The effect of thickness of clay stone in sealing hydrocarbon[J]. Natural Gas Geoscience, 1998, 9(6): 20-25.
- [19] 程海生,杨风丽. 油气田断层封闭性综述[J]. 特种油气藏,2008,15(1):6-8.

- Chen Shu ping, Tang Liang jie, Jia Cheng zao, et al. Analysis of the basement subsidence of the cenozoic overburden of the western Kuqa depression [J]. Journal of Southwest Petroleum Institute, 2004, 26(1): 5-8.
- [9] 汤良杰, 贾承造, 金之钧, 等. 塔里木盆地库车前陆褶皱带中段盐相关构造特征与油气聚集[J]. 地质论评, 2003, 49(5): 501-506.
- Tang Liangjie, Jia Chengzao, Jin Zhijun, et al. Salt-related structural characteristics and hydrocarbon accumulation in the Middle Segment of the Kuqa foreland fold belt in the Northern Tarim Basin, NW China[J]. Geological Review, 2003, 49(5): 501-506.
- [10] 赵俊猛, 李植纯, 马宗晋. 天山分段性的地球物理学分析[J]. 地学前缘, 2003, 10(8): 125-131.
- Zhao Jun Meng, Li Zhi Chun, Ma Zong Jin. Geophysical evidence for segmentation of the tianshan[J]. Earth Science frontiers, 2003, 10(8): 125-131.
- [11] 张明山, 姚宗惠, 陈发景. 塑性岩体与逆冲构造变形关系讨论——库车坳陷西部实例分析[J]. 地学前缘, 2002, 9(4): 371-376.
- Zhang Ming Shan, Yao Zong Hui, Chen Fa Jing, A discussion on the relationship between plastic body and deformation of thrust Structure; in Western Kuche depression of china as an example[J]. Earth Science Frontiers, 2002, 9(4): 371-376.
- [12] 王子煜. 库车坳陷断层控制下的盐岩塑性流动及对上覆地层构造影响的沙箱模拟[J]. 石油实验地质, 2002, 24(5): 441-445.
- Wang Ziyu. Sandbox simulation of saltrock plastic flow controlled by faults in the kuche depression of the tarim basin and its influence on overlying stratigraphic structures [J]. Experimental Petroleum Geology, 2002, 24(5): 441-445.
- [13] 赵桂萍. 准噶尔盆地南缘异常高压及其与油气成藏的关系[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(4): 327-331.
- Zhao Guiping. Overpressure and its relation to petroleum accumulation in southern edge of Junggar Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24(4): 327-331.
- [14] 孙冬胜, 金之钧, 吕修祥, 等. 沉积盆地超压体系划分及其与油气运聚关系[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(1): 14-20.
- Sun Dongsheng, Jin Zhijun, Lü Xiuxiang, et al. Classification of overpressure systems in sedimentary basins and their relationship with hydrocarbon migration and accumulation[J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(1): 14-20.
- [15] 郑和荣, 李铁军, 蔡立国, 等. 中国中西部前陆冲断褶皱带油气地质条件及勘探建议[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(2): 156-161.
- Zheng Herong, Li Tiejun, Cai Liguang, et al. Petroleum geologic conditions in foreland thrust fold belts in west central China and proposals for exploration[J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(2): 156-161.

(编辑 高岩)

(上接第896页)

- Cheng Haisheng, Yang Fengli. An overview of fault seal ability in oil and gas fields[J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2008, 15(1): 6-8.
- [20] 李国军, 海川, 杨玉卿, 等. 利用测井地震资料预测塔中油田碳酸盐岩储集层[J]. 测井技术, 2008, 32(3): 225-226.
- Li Guojun, Haichuan, Yang Yuqin, et al. Prediction of carbonate reservoir with Logging-seismic information-case study on Ordovician reservoirs of No.1 Slope Break Zone, Tazhong Oilfield [J]. Well Logging Technology, 2008, 32(3): 225-226.
- [21] 刘春晓, 张晓花, 刘建军. 塔中地区火山岩与油气藏关系研究[J]. 断块油气田, 2004, 11(5): 18-20.
- Liu Chunxiao, Zhang Xiaohua, Liu Jiangjun. Research of the relationship between lava and hydrocarbon in Tazhong area, Tarim basin. Fault-Block Oil & Gas Field, 2004, 11(5): 18-20.
- [22] 刘春晓, 李铁刚, 刘城先. 塔中地区深部流体活动及其对油气成藏的热作用[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2010, 40(2): 279-284.
- Liu Chunxiao, Li Tiegang, Liu Chengxian. Deep fluid activity in central Tarim Basin and its heating effects on hydrocarbon generation and accumulation[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2010, 40(2): 279-284.
- [23] 吕修祥, 解启来, 杨宁, 等. 塔里木盆地深部流体改造型碳酸盐岩油气聚集[J]. 科学通报, 2007, 52(增刊1): 143-146.
- Lv Xiuxiang, Xie Qilai, Yang Ning, et al. Carbonate hydrocarbon accumulation transformed by deep fluid in Tarim Basin [J]. Chinese Science Bulletin, 2007, 52 (Supplement 1): 143-146.
- [24] 吕修祥, 杨宁, 解启来, 等. 塔中地区深部流体对碳酸盐岩储层的改造作用[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(3): 284-288.
- Lv Xiuxiang, Yang Ning, Xie Qilai, et al. Carbonate reservoirs transformed by deep fluid in Tazhong area [J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(3): 284-288.

(编辑 董立)