

文章编号:1672-9854(2008)-03-0024-06

鄂尔多斯盆地靖边气田马五₁₊₂气藏 储集单元研究

代金友,何顺利

(中国石油大学(北京)石油工程教育部重点实验室)



代金友

摘要 综合地震、地质、测井等信息,考虑沉积、成岩、地貌、生产动态等多因素,在沟槽识别和致密带研究基础上,通过井间干扰、油层压力变化和试井边界响应分析,按照局部、就近原则对靖边气田马五₁₊₂气藏进行了储集单元划分。共划分出111个储集单元,其中独立型69个,复合型42个。这些储集单元的面积多介于10~50 km²之间,单个储集单元的井数一般少于6口。在对气藏储层特征综合认识的基础上,确定流动单元划分思路与流程,并认为关键环节包括古沟槽识别、致密带研究、动静结合确定储集单元等3个方面。储集单元一方面受控于被致密岩相包围的有利成岩相带,宏观上与弱—中等充填泥粉晶白云岩相对对应性好;另一方面又受各级古沟槽夹持,在两个一级古沟槽之间往往共生多个储集单元,而这些储集单元边界又严格地受二级或三级沟槽切割控制。

关键词 气藏; 马家沟组; 储集单元; 靖边气田; 鄂尔多斯盆地

中图分类号: TE112.23 **文献标识码**: A

代金友 1975年生,博士。1997年毕业于石油大学(华东)石油与天然气地质勘查专业;2003年毕业于石油大学(北京)地质资源与地质工程专业,获博士学位。现为中国石油大学(北京)副研究员,主要从事油气田开发地质方面的教学与研究工作。通讯地址:102249 北京市昌平区府学路18号 中国石油大学(北京)石油天然气工程学院;电话:(010)89733889

靖边气田位于鄂尔多斯盆地中部伊陕斜坡上的靖边—横山一带,面积逾 3×10^4 km²。主要含气层为下古生界奥陶系马家沟组马五₁₋₅亚段湖相沉积碳酸盐岩储层,厚约120 m。靖边气田是鄂尔多斯盆地所发现的特大型古岩溶气田^[1],探明储量已逾 $4\,000 \times 10^8$ m³。马五₁₋₅亚段纵向上发育多套储集层,并形成上(马五₁₊₂)、中(马五₄^{1a})、下(马五₅¹)三套气藏组合^[2]。其中,马五₁₊₂气藏为靖边气田主力气藏,储层物性相对较好,溶蚀孔洞缝最为发育;马五₄^{1a}气藏和马五₅¹气藏埋藏相对较深,优质储层分布范围较局限。

关于靖边气田,前人曾从不同角度开展过大量研究并取得了许多重要认识^[1-23]。但从整体上看,

储集单元方面的相关研究较少,储层空间共生规律及其连通状况认识较为薄弱。为此,笔者在继承前人研究成果基础上,综合应用地震、地质、测井等多种信息,考虑沉积、成岩、地貌、生产动态等多因素,对靖边气田马五₁₊₂气藏储集单元进行了探讨。

1 储集单元涵义

储集单元属碳酸盐岩地层学研究范畴,是指具有独立的水动力系统,由储、产、盖、底层组成的能封闭油气的基本岩性单元^[3]。其特点为:

(1) 同一储集单元必须具备完整的储(渗)、盖、底层的岩性组合;

收稿日期:2008-01-19

基金项目:本文受中国石油天然气股份公司科技攻关项目(编号:2004110024000244)和石油科技中青年创新基金项目(编号:06E1040)联合资助

(2) 同一储集单元必须具有统一的水动力系统;

(3) 同一储集单元应具有相似的流体性质;

(4) 储集单元界面不受地层单元界面的限制(可以一致或不一致);

(5) 同一储集单元储层互为连通、压力相互传递,不同储集单元以渗流屏障为界,形成各自独立的三维流体渗流空间。

因此,储集单元可理解为空间上流体连续流动的三维储集体,其实质为一个可操作的具有实践意义的基本开发单元。

碳酸盐岩储层储集空间多以次生溶蚀孔洞为主,后期成岩改造作用对储集空间形成的影响较大。受沉积、成岩、构造、地貌、岩溶等多种因素综合影响,碳酸盐岩储层非均质性严重。客观描述碳酸盐岩储层,尤其是优质储层的空间共生关系及其连通状况,对碳酸盐岩油气田的勘探开发至关重要。开展储集单元研究是解决这一问题的有效方法,它对碳酸盐岩油气田滚动开发选区、气井井位部署以及生产措施实施调整等工作有着实际意义。

2 气藏储集单元划分

从前期认识来看,靖边气田马五₁₊₂气藏储层具有以下特征:

(1) 气藏直接盖层为石炭系本溪组铝土质泥岩,全区稳定发育,封闭性好;

(2) 底层为马五₃高泥质含量的白云岩或白云质泥岩,平均厚度17m,分布稳定;

(3) 储层主要为陆表海蒸发潮坪沉积的白云岩,次生溶蚀孔洞缝发育;

(4) 不同级次的枝状沟槽网络十分发育,切割地层深浅不一;

(5) 储层内部存在面积大小不一的低渗致密岩性区;

(6) 受沟槽和致密带的围限分割,储层呈现高低渗相间分布的格局;

(7) 含气储层(产层)受枝状沟槽网络切割和大面积致密带围限,形成相互间独立的流体连续流动的三维储集体;

(8) 含气储层尽管顶底受盖层、底层制约,但内部纵向窜流旁通、小层界面约束性小;

(9) 由于高渗区相对有限,而沟槽和低渗致密

区空间分布复杂,导致钻探效果不佳,往往是高产井之外一个井距内就会出现低效井。

针对气藏上述地质特点,笔者研究确定了流动单元划分思路与流程(如图1),其关键环节包括沟槽识别、致密带研究、动静结合确定储集单元等3个方面。

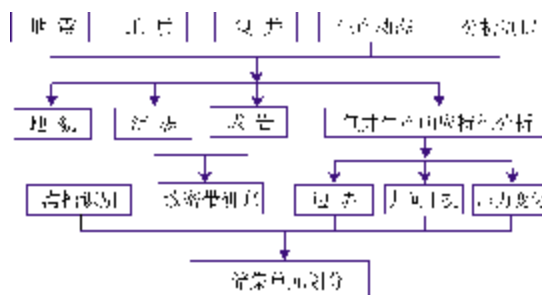


图1 储集单元划分流程图

2.1 沟槽识别

靖边气田所处的中部地区在加里东运动晚期整体抬升,使早古生代中奥陶世海退之后暴露地表的碳酸盐岩遭受了130 Ma的风化剥蚀和淋滤作用。在线状水流冲蚀作用下,马五₁₊₂地层发生不同程度的缺失,并形成由西向东延伸的树枝状的V字型沟槽系统^[4]。石炭系本溪组铝土质泥岩与黄铁矿层大量堆积,尤其是后期成岩作用,使沟槽部位泥岩与黄铁矿层普遍致密,是储层侧向的重要遮挡条件。印支、燕山运动后,原来靖边气田东倾的单斜构造发生整体反转,形成了东部翘升的西倾单斜,此时古沟槽对马五₁₊₂气藏具有重要的封闭作用。因此,古沟槽是马五₁₊₂气藏最重要的渗流屏障之一,对其进行识别是储集单元划分前要解决的首要问题。本次研究主要以钻井、试井资料及生产数据为验证和约束条件,通过建立沟槽与地震属性之间的相关关系,实现了以地震属性分析为主导的沟槽综合识别^[5-6]。

2.2 致密带研究

致密带研究是在储层沉积、成岩演化研究基础上进行的,由于受篇幅限制,此部分内容将另文发表。通过98口井岩心观察,1000余块铸体和阴极发光鉴定资料分析,800口井的测井解释成果,300口井录井资料及314口井物性资料分析,笔者编制了

表1 靖边气田马五₁₊₂气藏成岩相类型及特征

成岩相	弱充填泥粉晶白云岩相	中等充填泥粉晶白云岩相	强充填泥粉晶白云岩相	泥质白云岩或白云质泥岩相
沉积环境	白云岩坪	白云岩坪	白云岩坪	泥云坪
主要成岩作用	溶解、充填作用	溶解、充填作用	溶解、充填作用	溶解、充填作用
储集空间组合	弱充填泥粉晶白云石晶间孔、晶间溶孔、硬石膏结核溶孔、网状微裂缝	中等充填泥粉晶白云石晶间孔、晶间溶孔、硬石膏结核溶孔、网状微裂缝	强充填泥粉晶白云石晶间孔、晶间溶孔、硬石膏结核溶孔、网状微裂缝	白云石晶间孔、微孔
孔隙度(%)	5~16.72	2.5~5.0	0.15~2.5	< 1.47
渗透率($\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$)	0.29~7.75	0.11~6.59	0.0016~3.9	< 0.05
储集性能	最好	较好	致密带	致密带

靖边气田马五₁₊₂气藏成岩相类型划分及特征表,并给出了成岩相划分标准(表1)。可以看出,马五₁₊₂亚段的致密带主要包括强充填泥粉晶白云岩相、泥质白云岩或白云质泥岩相两类。

致密带的形成受沉积和成岩作用双重控制。从沉积方面看,泥云坪微相水动力弱,其沉积的泥质白云岩或白云质泥岩往往泥质含量高、可溶组分少、可塑性强,导致后期地层水渗入困难,溶解作用较弱、压实作用较强,最终演变为致密带。从成岩方面,白云岩坪微相沉积含硬石膏结核、盐岩等多种易溶组分,在溶解和破裂作用下可形成大量溶蚀孔洞缝空间,但如果后期成岩充填作用强烈,亦可演变为致密带。这种成岩致密带的形成主要受古地貌控制,即处于风化地貌的低洼部位的白云岩,往往接受台丘等地貌高部位搬运的风化岩溶物,在强烈的充填作用下最终演变为致密带。

马五₁₊₂气藏成岩相展布如图2,可以看出,尽管马五₁₊₂气藏局部有利成岩相(弱充填泥粉晶白云岩相、中等充填泥粉晶白云岩相)连片分布,但总体上依然以致密带发育为特征。

2.3 动静结合确定储集单元

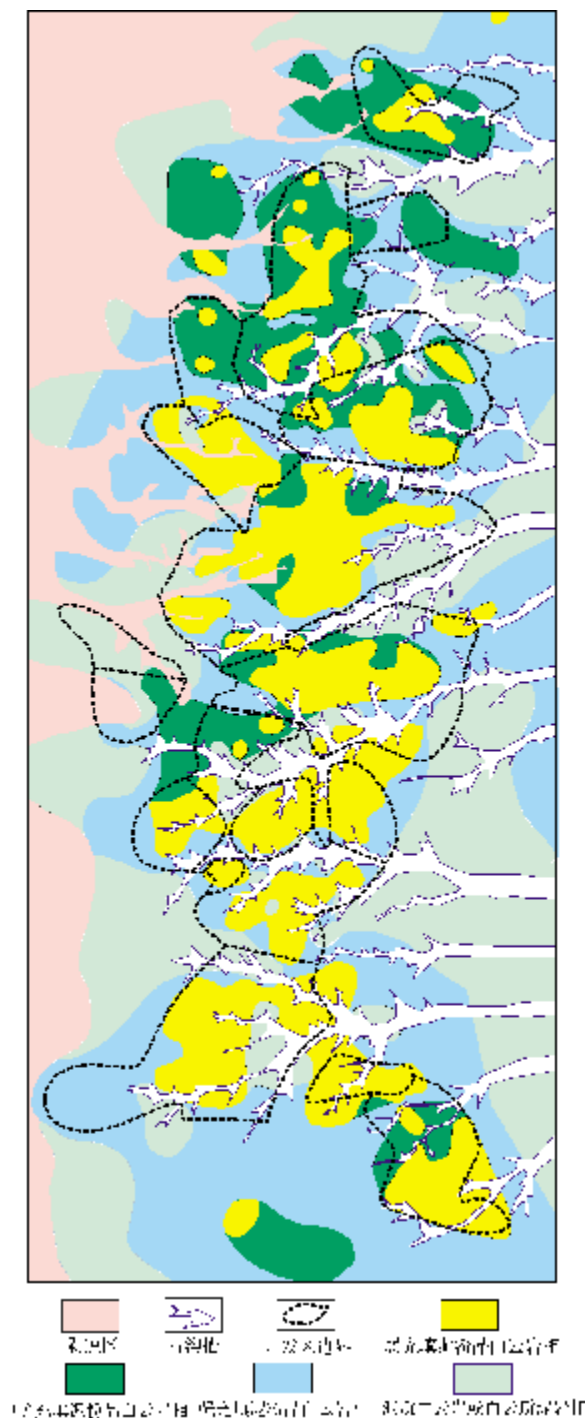
截止2007年6月,共收集到靖边气田26井次修正等时试井资料、64口井的压力恢复测试资料、102口井关井压力普测数据及321口生产井动态资料。应用这些资料对马五₁₊₂气藏类型、气井边界响应、邻井干扰、原始深压曲线特征以及开发过程中油层压力变化特征等进行了综合分析。在动态研究

基础上,综合考虑沟槽和致密带等因素的制约,动静结合使各方面资料相互印证、相互统一,完成了马五₁₊₂气藏储集单元的划分。本次研究共划分出了111个储集单元(图3)。

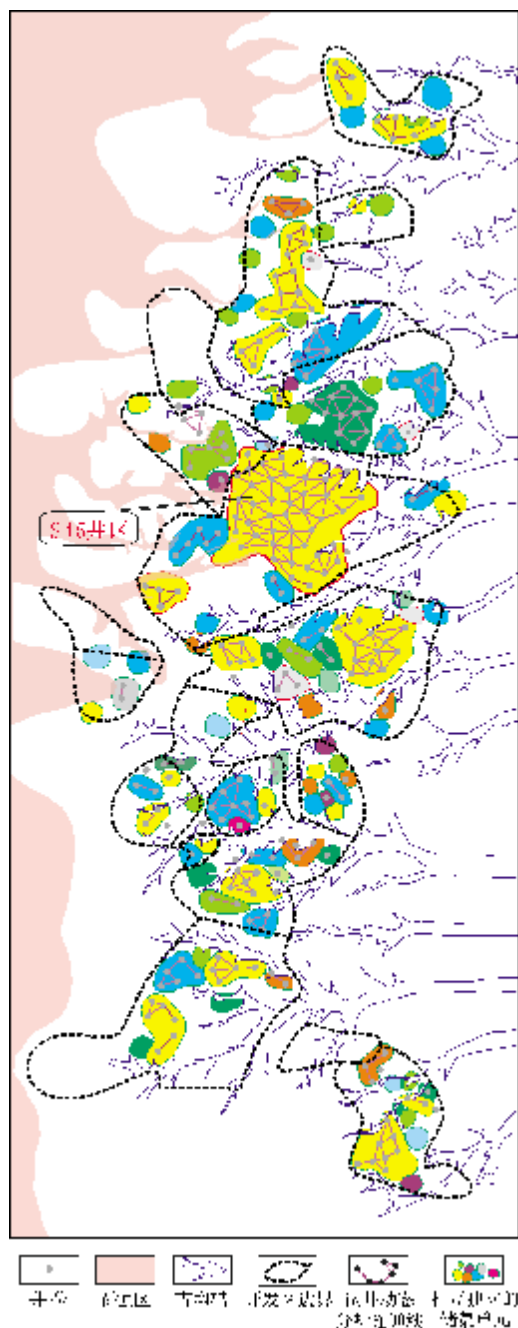
3 气藏储集单元特征

对比图2、图3不难发现,储集单元总体上受控于被致密岩相包围的有利成岩相带和古沟槽。有利成岩相带对储集单元控制作用表现在,宏观上储集单元与弱—中等充填泥粉晶白云岩相对应性好,但储集单元的分布与有利成岩相分布轮廓并不完全一致,而是表现出更为零散的特点,即一个有利成岩带内可包含多个储集单元。笔者认为,这一现象指示在有利成岩相带内部仍然存在较小的低渗致密区,而这些致密区往往在现有井距条件下无法用井资料加以控制和识别,但却恰恰是气井动态所能反映出的比较明显的渗流边界。古沟槽对储集单元控制作用表现在,储集单元总体上是受各级沟槽夹持的,在两个一级沟槽间往往共生多个储集单元,而这些储集单元边界又严格地受二级或三级沟槽切割控制。

在所划分出的111个储集单元中,根据包含的井数差异可以将其分为独立型和复合型两类(表2)。其中,由单井点构成的储集单元归为独立型储集单元,此类储集单元主要受致密带制约,连通面积小,具有有限的供给半径和较低的产能,后期加密潜力较小。由多井点构成的储集单元定义为复合型储集单元,此类储集单元主要受致密

图2 靖边气田马五₁₊₂气藏成岩相分布图

带和沟槽的共同制约,连通面积大,内部气井多表现出井间干扰特征或较为一致的深压曲线趋势,单井具有相对较大的供给半径和较高产能,局部具有进一步加密的潜力。本次研究共识别出

图3 靖边气田马五₁₊₂气藏储集单元分布图

独立型储集单元 69 个,占储集单元总数的 62.2%;复合型储集单元 42 个,占储集单元总数的 37.8%。统计表明,本区独立型储集单元尽管数量多,但井数比例低,仅占总井数的 23.7%;复合型储集单元尽管数量少,但井数比例高,占总井数的 76.3%。复合型储集单元多由 2~6 口井构成,7 口

表2 靖边气田马五₁₊₂气藏不同储集单元类型及井数统计

类 型	独立型	复 合 型										
单个储集单元内井数(口)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	13	47
相同井数的储集单元数(个)	69	16	6	5	4	4	1	1	1	2	1	1
相同井数单元的井数合计(口)	69	32	18	20	20	24	7	8	9	24	13	47
合计单元数比例(%)	62.2	37.8(合计单元数 42 个)										
合计井数比例(%)	23.7	76.3(合计井数 222 口)										

井以上的储集单元比较少。这一方面说明,马五₁₊₂储层非均质性严重、连通性差,同时表明本区单一储集单元井数一般少于6口,规模不大。靖边气田开发区内井网相对完善,平均井距3.2 km。按现有井距测算,单个储集单元面积多在10~50 km²,仅S45井区储集单元为一特例,面积达400 km²,共含有47口井。

4 结论和建议

(1)靖边气田马五₁₊₂气藏盖层、底层分布稳定,受枝状沟槽网络的切割和大规模致密带围限,空间上储集单元分布复杂,可划分为111个单元。有利储集单元为弱充填泥粉晶白云岩相、中等充填泥粉晶白云岩相分布区。

(2)共识别出独立型储集单元69个,复合型储集单元42个。单一储集单元面积多介于10~50 km²,井数一般少于6口。

(3)独立型储集单元连通面积小、包含井数少、气井产能低,后期加密调整潜力不大。复合型储集单元连通面积大、井数多、气井产能高,为后期加密调整的主要潜力区;

(4)建议以划分的储集单元作为基本开发单元考虑,不断完善和深化储层共生关系和连通规律的认识,进而指导气田开发中后期措施调整及井位部署工作。

致谢:本文为中国石油天然气股份有限公司“长庆靖边下古气藏储层精细描述及开发潜力评价”项目成果之一,参加工作的还有蒋盘良、朱毅秀、王少军、兰一飞、史若珩等,先后还得到了张宗林、吴正、达世攀、李跃刚、王东旭、陈安定、时爱红、方建龙等的大力帮助,谨此致谢。

参 考 文 献

- [1] 何自新,郑聪斌,王彩丽,等. 中国海相油气田勘探实例之二:鄂尔多斯盆地靖边气田的发现与勘探[J]. 海相油气地质, 2005, 10(2): 37-44.
- [2] 周树勋,马振芳. 鄂尔多斯盆地中东部奥陶系不整合面成藏组合及其分布规律[J]. 石油勘探与开发, 1998, 25(5): 14-18.
- [3] 刘吉余,黎文清. 油气田开发地质基础[M]. 4版. 北京:石油工业出版社, 2006, 336-337.
- [4] 代金友,何顺利. 鄂尔多斯盆地中部气田奥陶系古地貌研究[J]. 石油学报, 2005, 26(3): 37-39.
- [5] 代金友,张一伟,史若珩,等. 鄂尔多斯盆地中部气田剥蚀脊与沟槽[J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(6): 29-31.
- [6] 顾岱鸿,代金友,兰朝利,等. 靖边气田沟槽高精度综合识别技术[J]. 石油勘探与开发, 2007, 34(1): 60-64.
- [7] 冯增昭,鲍志东. 鄂尔多斯奥陶纪马家沟期岩相古地理. 沉积学报[J], 1999, 17(1): 1-8.
- [8] 付金华,郑聪斌. 鄂尔多斯盆地奥陶纪华北海和祁连海演变及岩相古地理特征[J]. 古地理学报, 2001, 3(4): 25-33.
- [9] 包洪平,杨承运. 鄂尔多斯东部奥陶系马家沟组微相分析[J]. 古地理学报, 2000, 2(1): 31-41.
- [10] 王文炯. 陕甘宁盆地中部大气田成藏条件分析[J]. 断块油气田, 1995, 2(1): 10-15.
- [11] 马振芳,陈安宁,王景. 鄂尔多斯盆地中部古风化壳气藏成藏条件研究[J]. 天然气工业, 1998, 18(1): 9-13.
- [12] 王雪莲,王长陆,陈振林,等. 鄂尔多斯盆地奥陶系风化壳岩溶储层研究[J]. 特种油气藏, 2005, 12(3): 32-35.
- [13] 席胜利,李振宏,王欣,等. 鄂尔多斯盆地奥陶系储层展布及勘探潜力[J]. 石油与天然气地质, 2006, 17(3): 405-412.
- [14] 晏宁平,张宗林,何亚宁,等. 靖边气田马五₁₊₂气藏储层非均质性评价[J]. 天然气工业, 2007, 27(5): 102-103.
- [15] 杨遂正,金文化,李振宏. 鄂尔多斯多旋回叠合盆地形成与演化[J]. 天然气地球科学, 2006, 17(4): 494-498.
- [16] 吴智勇,郑秀才,张尚峰. 鄂尔多斯盆地中部马五₁₊₂碳酸盐岩的成岩作用[J]. 江汉石油学院学报, 1995, 17(2): 15-20.

- [17] 郑秀才. 鄂尔多斯盆地中部马五₁₊₂亚段成岩作用及储集性能[J]. 西安地质学院学报, 1996, 18(1): 43-49.
- [18] 王彩丽, 孙六一, 王宏. 长庆气田马五₁₊₂储层裂缝类型及特征[J]. 天然气工业, 1999, 19(4): 8-12.
- [19] 柳广第, 郝石生. 鄂尔多斯盆地古生界生烃史和排烃史的模拟[J]. 石油大学学报: 自然科学版, 1996, 20(1): 13-18.
- [20] 孙少华, 李小明, 龚革联, 等. 鄂尔多斯盆地构造热事件研究[J]. 科学通报, 1997, 42(3): 306-308.
- [21] 蒲仁海, 姚宗慧, 张艳春. 鄂尔多斯盆地古构造演化在气田形成中的作用及意义. 天然气工业, 2000, 20(6): 27-30.
- [22] 张宗林, 王宏, 秦志宝, 等. 长庆气田下古生界马五段碳酸盐岩储层类别测井识别方法研究[J]. 天然气工业, 2000, 20(3): 44-46.
- [23] 张福礼. 鄂尔多斯盆地早古生代复合的古构造体系与天然气[J]. 地质力学学报, 2002, 8(3): 193-200.

编辑: 吴厚松

Reservoir Bed Unit of MaJiagou 5₁₊₂ Gas Reservoir in Jingbian Gas Field, Ordos Basin

Dai Jinyou, He Shunli

Abstract: Lower Ordovician Majiagou 5₁₊₂ gas reservoir is divided into 111 bed units in which include 69 independent and 42 compound ones. These bed units commonly are 10~50 km² in extent of area, and the well number of a single bed unit is generally less than 6 wells. Comprehensive recognition of the reservoir bed units are founded on three key aspects, i.e. the identification of paleo-ravines, the research of compact belt and the analysis of combining dynamic and static data. The reservoir bed units are not only under the control of the favorable diagenetic belt that enclosed by dense rocks, but also under the control of different orders of paleo-ravines. Several reservoir bed units commonly coexist between two 1st-order paleo-ravines while the margins of these units are cut by 2nd-order and 3rd-order paleo-ravines.

Key words: Early Ordovician; Majiagou Formation; Gas reservoir; Reservoir bed unit; Division of unit; Diagenesis; Jingbian Gas Field, Ordos Basin

Dai Jinyou: male, Doctor. Add: MOE Key Laboratory of Petroleum Engineering, China University of Petroleum, Changping, Beijing, 102249 China