

基于测井资料的碳酸盐岩储层评价方法 ——以辽河西部凹陷曙 103 块潜山为例

吴智勇, 郭建华, 吴东胜, 何 宏

(江汉石油学院, 湖北荆州 434102)

摘要: 辽河西部凹陷曙 103 块潜山由中元古界长城系高于庄组泥-粉晶白云岩、灰质白云岩和白云质灰岩组成, 其主要储集空间为溶蚀孔洞、裂缝及微孔微缝等。根据碳酸盐岩储层的测井曲线特征, 选择自然伽马、密度、声波时差及电阻率作为评价指标, 对于不同的读数段赋予不同的分值。在对某一储层段进行评价时, 先分别得出各项指标的分值, 相加后再与储层评价标准对比, 即可确定该储层段的类别。经与曙 103 块潜山各井的开采现状对比表明, 该方法得出的储层评价结果是准确的。

关键词: 潜山; 碳酸盐岩储层; 特征; 评价; 测井曲线; 辽河西部凹陷

第一作者简介: 吴智勇, 男, 36 岁, 副教授(硕士), 沉积学和层序地层学

中图分类号: TE112 **文献标识码:** A

辽河凹陷是第三纪形成的断陷型含油气盆地, 西部凹陷是其主要的含油气单元。曙 103 块潜山是西部凹陷曙光低潜山带上的一个断块型背斜潜山, 由中元古界长城系高于庄组泥-粉晶白云岩、灰质白云岩和白云质灰岩组成, 属碳酸盐岩台地潮缘沉积。该区构造演化史表明, 高于庄组沉积之后, 蓟县运动使该区大规模上隆而遭受长期的风化剥蚀, 形成了一系列白云岩地貌高地; 燕山运动时期, 该区构造运动从平缓升降为主转为拉张断陷作用为主, 形成一系列与曙 103 块潜山类似的断块潜山; 早第三纪强烈的断陷作用, 使这些潜山深埋于下第三系碎屑岩之下, 构成了良好的潜山圈闭^[1]。

1 储层特征

1.1 岩石学特征

曙 103 块潜山各井揭露的岩石类型主要是碳酸盐岩, 包括泥-粉晶白云岩、灰质白云岩和白云质灰岩等, 局部井段出现有交代残余的颗粒灰质白云岩和白云质灰岩以及含泥和含硅碳酸盐岩, 在溶洞发育层段还见有洞穴垮塌角砾岩和洞穴充填碎屑岩。

1.1.1 泥-粉晶白云岩

包括泥晶、微晶和粉晶白云岩及其过渡类型, 在泥质和硅质局部富集的井段构成含泥和含硅的泥-粉晶白云岩。从薄片鉴定结果上看, 该区的泥-

粉晶白云岩的结构组分以泥晶、微晶和粉晶白云石为主, 细晶级颗粒较少, 仅在局部层段出现, 白云石含量在 70% 以上, 最高可达 86% 以上, 方解石含量低于 20%, 一般在 5%~15% 之间, 其次为泥质、硅质等次要组分, 其含量一般低于 10%, 但在泥质和硅质较富集的局部层段可出现泥质或硅质白云岩。

1.1.2 泥-粉晶灰质白云岩

以微晶-粉晶白云石为主, 含量为 55%~70%, 方解石含量为 30%~40%; 此外, 粒屑和泥质也是该岩类的重要组分, 其含量一般低于 10%, 但少数在白云石含量较低的薄片上可高达 40%~50%, 构成粒屑灰质白云岩, 在白云石含量较高的岩石薄片上, 粒屑含量较少或不含粒屑。

1.1.3 泥晶-微晶(粒屑)白云质灰岩

这类岩石主要出现在白云石化不均匀的层段, 仅曙 103-1 井和曙 103-2 井局部出现, 其所占比例在两口井中均低于 10%。该岩类中方解石含量一般为 50%~60%, 最高不超过 63%; 白云石含量一般为 30%~40%; 此外还见有少量的硅质和泥质, 含量一般低于 10%。岩石薄片上, 常见有较丰富的藻屑和粒屑, 其颗粒大小大多为 0.5 mm 左右。

1.2 储集空间类型及特征

曙 103 块潜山岩石由于经历了长时间、多期次的成岩作用的改造与破坏, 岩石中的原始孔隙几乎已丧失殆尽, 目前起主导作用的主要是后期溶蚀孔洞和裂缝, 它们的发育程度直接影响岩石的储集性能。

1.2.1 古岩溶与溶蚀孔洞

由于地下水或地表水的溶解淋滤,使岩石原来的孔隙或裂隙进一步溶蚀扩大,最终形成不同规模的溶蚀孔洞。大中型溶洞主要发育在潜山顶部的风化壳或古潜水面附近。由于大中型溶洞规模大,常易坍塌而被充填,因此,对储集空间的贡献较小。在测井曲线上,这种大中型溶洞以自然伽马和声波时差值的明显增大以及密度值和电阻率的急剧下降为特征,反映出溶洞被泥质或地下流体充填后导致其电性异常。小型溶洞的测井曲线的变化幅度相应地小一些,由于其规模小,溶洞中未被充填的比例要高于大中型溶洞,在垂向上的分布也更广一些,因此对储集空间的贡献也较大。溶孔在曙103块潜山储层中极为发育,其孔隙度可达10%。据岩芯观察,溶孔孔径一般为1~4 mm,最大可达15 mm,在岩芯上估测的面孔率一般小于10%,最高可达20%。在显微镜和扫描电镜下,见有较为发育的晶间溶孔和非组构溶孔,分布不均匀,连通性也较差,孔径一般为5~50 μm ,以5~15 μm 为主,面孔率小于2%,溶孔大多为后期形成的白云石或方解石充填、半充填。在测井曲线上,溶孔发育层段表现为深浅侧向有一定的幅度差,电阻率较低,补偿中子和时差值均较高,密度较低,并有扩径现象。

1.2.2 裂缝

裂缝是曙103块潜山的另一种重要的储集空间类型,同时也是重要的连通通道。从岩芯观察中可以看到,该区潜山裂缝极其发育,多期次交叉切割,裂缝开度、延伸长度不一,宽度可达2 mm以上,延伸较长,宏观上肉眼可见的裂缝多为方解石或泥晶充填。填隙物滴酸起泡剧烈,滴酸后搁置一段时间,由于填隙物被酸溶,缝隙清晰可见。裂缝开度0.02~0.03 mm,其体积裂缝密度平均为0.321 6 mm,裂缝孔隙度为0.8%。在地层倾角测井图上,高角度裂缝以一个或一对电极显示低阻,呈现出较长的针状形态。

1.2.3 微观孔隙

除了较大的溶蚀孔洞和构造裂缝等储集空间之外,岩石内部显微级的微型溶孔及微裂缝亦是重要的储集空间。扫描电镜下可见,微孔隙类型主要有晶间溶蚀孔、次生溶蚀孔和微孔、微裂缝等,孔隙直径1~20 μm ,但主要为5~8 μm ,缝张开宽度为1~10 μm 。对取自6口井的20块样品进行压汞实验表明,最大进汞体积为91.2%,最小进汞体积为

14.31%,进汞体积不足20%的有5块,占25%,进汞体积大于80%的有4块,占20%,总算术平均孔喉半径为5.088 μm ,平均孔喉半径大于1 μm 的有10块样品,占50%。由此可以看出,该区碳酸盐岩潜山储层的喉道分布以细歪度负偏态为主,压力达1 MPa左右时开始进汞,孔喉半径分布较窄,属于微孔隙、微裂缝型储层。

1.3 物性特征

该区6口井56块潜山基岩样品的常规物性测定结果(其中测定孔隙度56块,渗透率49块)表明,孔隙度最大值为19%,最小为0.1%,其中,孔隙度大于5%的只有6块,占样品数的10.7%;孔隙度小于3%的有39块样品,占样品数的69.6%;孔隙度在3%~5%之间的有11块样品,占样品数的19.6%;所有样品的平均孔隙度为2.75%。渗透率最大值为 $11 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,最小值则小于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,其中渗透率大于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的仅有6块样品,占样品的12.2%;其余样品的渗透率均小于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。由上述测定结果可以看出,该潜山储层储集性能较差,但在后期溶蚀作用的改造以及构造裂缝的串连下,其储集性能可获得较大的改善。

2 评价方法

2.1 储层划分标准

现有研究表明,纯的碳酸盐岩是不可能成为好储层的,只有裂缝和溶蚀孔洞发育层段才能作为储集层。因此,当某一层段的测井曲线表现为纯碳酸盐岩时,即自然伽马值低于3 API,密度大于 2.7 g/cm^3 ,电阻率大于2 000 Ωm ,声波时差小于13.1 $\mu\text{s/m}$,该层段必定是差储层或非储层;由于裂缝和溶蚀孔洞的发育降低了岩石的密度和连续性,因此好的储层段应当出现在声波时差和自然伽马曲线有一定程度的增大,电阻率和密度则相应地有所减小的层段。据我们研究,该区理想的好储层为声波时差16.4~18 $\mu\text{s/m}$,密度2.50~2.60 g/cm^3 ,自然伽马15~20 API,电阻率500~1 000 Ωm 。

根据上述研究,结合岩芯观察、射孔层段的试油试采资料以及各井开采动态,同时参照由地层倾角测井识别出的各井储集空间类型,对各测井曲线的不同读数段赋以不同的得分值,从而建立起曙103块潜山储层的定量划分标准(表1)。其中,自然伽马和深浅侧向测井曲线对于储层性质的变化要比声波时差和密度等敏感,因此对前者赋值最高

可达 5 分, 而后的最高值只有 3 分。

表 1 曙 103 块潜山储层划分标准

Table 1 Classification criterion of reservoir
in Shur 103 block buried hill

声波时差 / $\mu\text{s}\cdot\text{m}^{-1}$	密度 / $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	自然伽马 / API	深、浅侧向 / Ω_{m}	得分
—	—	15~ 20	500~ 1 000	5
16. 4~ 18	2. 50~ 2. 60	10~ 15 20~ 25	100~ 500 1 000~ 2 000	3
14. 8~ 16. 4	2. 60~ 2. 70	5~ 10	—	2
18~ 21. 3	2. 70~ 2. 75 2. 40~ 2. 50	25~ 35	50~ 100 2 000~ 3 000	1
大于 21. 3 或 小于 14. 8	大于 2. 75 或 小于 2. 4	大于 35 或 小于 5	大于 3 000 或 小于 50	0

需要说明的是, 由于大型未充填溶洞的声波时差和自然伽马以及密度和深浅侧向的增大和降低幅度非常大, 超出了表 1 设立的标准, 若用上述标准进行评价, 这种大型未充填溶洞只能归入差或非储层中。这一现象在曙 103 - 5 井中较为明显, 因

此我们在本标准中排除了大型未充填溶洞。

在进行储层评价时, 先根据测井曲线将评价井段划分为读数变化相对较小的储层段。对于某一层段而言, 这 4 种测井曲线的得分值可由表 1 查得, 4 项参数的得分相加后, 得分在 16~ 11 分者为好储层, 10~ 7 分为中等储层, 6~ 0 分为差储层或非储层。

2.2 储集层段划分

根据上述储层划分标准, 我们对曙 103 块潜山各井储集层段进行了定量评价, 根据各个层段得分多少, 划分出好、中、差 3 类储层, 其中差储层包括了泥质岩等非储层。在储层划分过程中, 对于测井曲线波动较小的层段, 我们采取直接读数的方法得到其读数, 而对于那些持续变动的层段, 我们一般读取其范围值, 同时给出其平均值, 并以此作为该层段的读数。表 2 和表 3 分别是曙 103 井和曙 103 - 1 井的储集层段划分结果。

表 2 曙 103 井储层定量评价

Table 2 Reservoir quantitative evaluation of Shur 103 Well

层号	井段/m	声波时差/ $\mu\text{s}\cdot\text{m}^{-1}$	密度/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	自然伽马/ API	电阻率/ Ω_{m}	得分	评价	厚度 /m
1	3 359. 6~ 3 372. 6	19~ 21 (19. 8)	2. 6~ 2. 7 (2. 64)	15~ 28 (19)	100~ 200 (150)	11	好	13
2	3 372. 6~ 3 379	18~ 21. 3 (19)	2. 65~ 2. 83 (2. 76)	10~ 15 (13)	500~ 2 000 (1 100)	7	中	6. 4
3	3 379~ 3 390	16. 4~ 23 (19. 3)	2. 6~ 2. 8 (2. 69)	10~ 20 (16)	100~ 1 000 (300)	11	好	11
4	3 390~ 3 419	16. 4~ 18 (16. 7)	2. 65~ 2. 83 (2. 78)	10~ 15 (13)	200~ 1 000 (400)	9	中	29

表 3 曙 103 - 1 井储层定量评价

Table 3 Reservoir quantitative evaluation of Shu 103 - 1 Well

层号	井段/m	声波时差/ $\mu\text{s}\cdot\text{m}^{-1}$	密度/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	自然伽马/ API	电阻率/ Ω_{m}	得分	评价	厚度 /m
1	3 356~ 3 358	19. 8~ 29. 5 (26. 2)	3. 4~ 2. 63 (2. 5)	50~ 110 (75)	3~ 6 (5)	3	差	2
2	3 358~ 3 362. 8	13. 1~ 16. 4 (15. 4)	2. 7~ 2. 8 (2. 77)	10~ 20 (16)	500~ 1 000 (600)	12	好	4. 8
3	3 362. 8~ 3 378. 4	16. 4~ 30. 5 (18. 4)	1. 8~ 2. 5 (2. 25)	60~ 90 (80)	2~ 10 (5)	1	差	15. 6
4	3 378. 4~ 3 386	18. 7~ 19. 3 (19)	2. 5~ 2. 7 (2. 62)	0~ 10 (3)	500~ 2 000 (999)	9	中	7. 6
5	3 386~ 3 407	14. 8~ 18. 7 (17. 3)	2. 5~ 2. 7 (2. 68)	15~ 70 (45)	40~ 300 (90)	6	差	21
6	3 407~ 3 427	16. 1	2. 6~ 2. 8 (2. 68)	2~ 5 (3)	5 000~ 20 500 (10 000)	5	差	20
7	3 427~ 3 435	16. 1	2. 6~ 2. 7 (2. 64)	2~ 7 (4)	200~ 2 000 (600)	10	中	8
8	3 435~ 3 447	16. 1~ 45. 9 (16. 7)	2. 0~ 2. 7 (2. 58)	5~ 20 (13)	20~ 1 000 (110)	12	好	12
9	3 447~ 3 449	42. 6~ 44. 2 (42. 6)	2. 1~ 2. 2 (2. 15)	70	5~ 10 (8)	0	差	2
10	3 449~ 3 469	15. 7~ 17 (16. 1)	2. 63~ 2. 8 (2. 71)	3~ 10 (4)	100~ 20 000 (3 000)	5	差	20
11	3 469~ 3 480	15. 7~ 20. 7 (17. 7)	2. 5~ 2. 75 (2. 66)	5~ 17 (7)	10~ 400 (90)	8	中	11
12	3 480~ 3 534	16. 4~ 21. 3 (19)	2. 2~ 2. 8 (2. 66)	25~ 120 (80)	10~ 100 (20)	3	差	54
13	3 534~ 3 547	14. 8~ 16. 4 (15. 7)	2. 68~ 2. 78 (2. 73)	1~ 8 (6)	300~ 2 000 (900)	10	中	13
14	3 547~ 3 570	14. 8~ 19 (17. 3)	2. 55~ 2. 74 (2. 68)	1~ 20 (10)	50~ 500 (90)	9	中	23
15	3 570~ 3 604	14. 1~ 17. 3 (16. 1)	2. 55~ 2. 75 (2. 69)	5~ 20 (10)	100~ 3 000 (400)	10	中	34

注: 括号中数值为众值

从表2可以看出,曙103井划分出好、中两类储层,其中好储层有2层24 m,中等储层有2层35.4 m。该井射孔层段为3 359.6~3 419 m,基本位于本文所划分的2层好储层和1层中等储层段,自射开生产至本项目完成时,该井累计产油达54 630 t,产气 $158.3 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。这表明,该井射孔层段的确属于好储层。

从表3可以看出,曙103-1井潜山储层划分为15层,其中好储层有2层16.8 m,中等储层有6层96.6 m,差储层有7层134.6 m。在油水界面(3 450 m)之上的94 m潜山层段中,差储层占65.5%,因此该井潜山储层的储集能力相对较差。

在地层倾角测井图上,该井潜山层段储集空间以溶蚀孔洞为主,大型溶洞常见,这些不同规模的溶洞绝大多数为泥质或垮塌角砾充填,表现为自然伽马值增大至50~70 API,有些层段甚至高达100 API,电阻率相应地呈低值,一般小于500 Ωm ,

低于100 Ωm 的层段也很常见;声波时差曲线在洞穴发育层段也有明显增大的现象。与上述3条曲线不同的是,密度测井值的变化不是十分明显,这种现象只能解释成以垮塌角砾为主的洞穴沉积。该井潜山中的裂缝以低角度缝和水平缝为主,网状缝常与溶洞伴生,很可能代表了洞穴充填物的层理。在该井中,高角度缝较少见,只在局部层段中出现。

综上所述,曙103-1井潜山储层总体属差储层。该井在3 380~3 427 m井段射开4层21.9 m后呈现为干层,表明这一评价结果是准确的。

曙103块潜山其余4口井的射孔层段、油气产量及储层评价结果的验证分析同样表明,本文的储层评价结果符合生产实际。

参 考 文 献

- 1 何宏,李长庚,王盛裘,等. 潜山内幕地层的旋回性及其对储集性能的影响[J]. 江汉石油学院学报, 1999, 21(2): 12~15

ASSESSMENT METHOD OF CARBONATE RESERVOIR BASED ON WELL LOG DATA: AN EXAMPLE OF SHU-103 BLOCK BURIED HILL IN WEST LIAOHE DEPRESSION

Wu Zhiyong Guo Jianhua Wu Dongsheng He Hong
(Jiangnan Petroleum Institute, Jingzhou, Hubei)

Abstract: Shu-103 block buried hill in west Liaohe Depression consists of Middle Proterozoic dolomitic limestone, lime dolomite and dolomitic limestone. Its main reservoir spaces include solution cavities and pores, fractures, micro-pores and fractures. According to the characteristics of log curve of carbonate reservoir, gamma ray, density, acoustic and resistivity log curve are selected to be evaluating indicators, and endue different log data with different values. The segments of a reservoir is calculated, then sum up the values of every curve and compare the results with criterion of the reservoir, the reservoir type could be determined. The results of this method is proved to be correct.

Key Words: buried hill; carbonate reservoir; property; evaluation; log curve; west Liaohe Depression