

苏里格气田优质储层控制因素

李会军¹ 张文才² 朱 雷³

(1.中国地质科学院地质力学研究所 2.中国石化石油勘探开发研究院 3.中央财经大学信息学院)

李会军等.苏里格气田优质储层控制因素.天然气工业,2007,27(12):16-18.

摘 要 苏里格气田是我国发现的第一个世界级储量的大气田,该气田的气藏分布严格受储层的控制。储层具有埋藏深度大(超过 4000 m)、深埋时间长(距今 150 Ma 以上)、成岩演化程度高(晚成岩 B—C 阶段)、物性较好(是鄂尔多斯盆地上古生界最好的储集层)的特点。为此,对该气田优质储层的控制因素进行了综合分析。结果认为,优质储层的分布主要受沉积环境(石英含量、碎屑粒度)、异常高压、古地形、成岩作用、裂缝发育程度等因素的控制;石英含量大于 90%、特别是大于 95% 时,储层孔隙度、渗透率明显变好;成岩作用的差异性使得中粗粒砂岩的物性较好,而中细粒砂岩物性较差;异常高压对优质储层的发育具有一定的保护作用;裂缝对储层物性有着较大的改善作用;砂岩中绿泥石含量和孔隙度具有明显的正相关性,绿泥石含量可以作为指示优质储层发育的指标。

主题词 苏里格气田 优质 储集层 控制 因子 石英 含量 成岩作用 异常压力 绿泥石

苏里格特大型气田区域构造属于鄂尔多斯盆地陕北斜坡北部中带,西起内蒙古鄂托克前旗、东至乌审旗桃利庙、北抵内蒙古鄂托克后旗敖包加汗、南至陕西定边县安边,面积约 $2 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。

一、储层特征

1. 物性相对最好

苏里格气田主力产层为上古生界二叠系下石盒子组盒 8 段和山西组山 1 段。其中前者气层岩心分析孔隙度平均为 10%~13%,最高可达 19.96%,渗透率平均为 $9 \times 10^{-3} \sim 62.2 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,最高达 $561 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,是鄂尔多斯盆地上古生界物性相对最好的储集层。

2. 气藏的分布严格受储层控制

苏里格气田构造形态为一个宽缓的西倾单斜,在宽缓的单斜上发育多排低缓的鼻隆构造,鼻隆构造的幅度只有 10~20 m。勘探开发实践证明,鼻隆构造对天然气聚集不起作用,而上古生界低孔、低渗砂岩体的横向展布特征以及储集物性才严格控制着气藏的分布。

3. 埋藏深度大

上古生界砂体埋藏深度较大,现今埋深一般为 3000~3500 m,如加上由于压实和剥蚀作用所导致的地层厚度缩小量,则最大埋深至少应超过 4000 m。

4. 演化程度高

苏里格气田的 R_o 北部大于 2.0%、南部大于 1.8%,古地温最高超过 130 °C,成岩作用已进入晚成岩 B—C 阶段^[1,2]。

5. 气藏为异常低压系统

苏里格气田盒 8 段、山 1 段气藏多气层纵向相互沟通、横向复合连片,气藏压力平面变化小,压力系数一般介于 0.8~0.92 之间,低于正常静水压力,属于异常低压气藏。

6. 深埋时间长

苏里格气田的主要含气层位——山 1 段和盒 8 段,自燕山期以来就持续处于深埋状态,深埋时间很长,在 150 Ma 以上。

二、储层物性控制因素

1. 石英含量

研究表明,高孔渗储层的分布与石英含量成明显的正相关关系,当石英含量大于 90%、特别是 95% 的时候,物性明显变好。这是因为苏里格气田储层埋藏深度大、深埋时间长,压实—压溶作用对储层的改造非常强烈,而不同的岩石组分抵抗压实作用的能力有着显著的差异,其中石英抵抗压实作用的能力最强,有利于原生孔隙的保存,进而利于次生孔隙的形成。

作者简介:李会军,1971 年生,北京大学构造地质学专业 2005 届博士毕业生。地址:(100081)北京市海淀区民族大学南路 11 号地质力学所。电话:(010)68482470。E-mail:lihuijun@pku.edu.cn

2. 砂岩粒度粗, 储层物性好

储层物性和粒度的关系很密切: 粒度粗, 储层物性就好。其原因在于, 中—细粒砂岩中含粗砂、中砂、细砂、粉砂及泥级颗粒(图 1-a), 而中粗粒砂岩却有很大不同, 不含粉砂级颗粒(图 1-b)。这一方面说明中粗粒砂岩沉积时水动力条件很强, 粉砂和泥质颗粒不能沉降下来; 另一方面也说明中粗粒砂岩中的黏土一部分是在同沉积期或以后渗流到粒间孔隙中去的, 而另一部分则是在成岩过程中自生成因的。

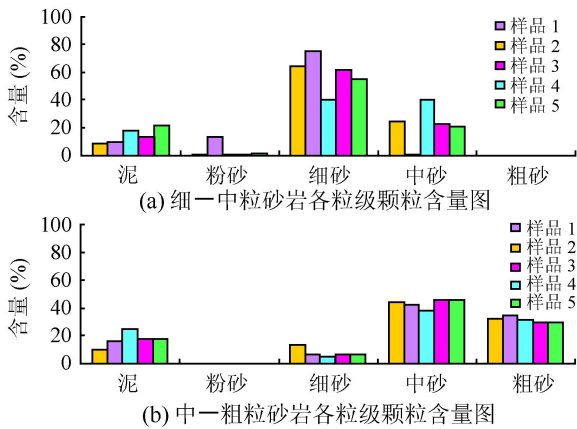


图1 细—中粒、中—粗粒砂岩各粒级颗粒含量图

3. 异常高压

本区现在虽然属于低压系统, 但在三叠纪—早白垩世时期, 气源岩大量生气, 其间普遍发育异常高压, 对优质储层的发育起到了保护作用。早白垩世末至现今, 盆地大范围抬升剥蚀, 气源岩埋深变浅, 地温明显降低, 导致生气速率急剧降低, 加之抬升过程中天然气的大量散逸, 从而形成了现今的低压气藏。

4. 古地形

在由二叠纪沉积到晚三叠世快速埋藏压实的过程中, 鄂尔多斯盆地苏里格庙地区始终位于近南北向的继承性古隆起之上, 两侧的迅速沉降导致了早期胶结作用很差, 随着埋深加大, 压实作用增强, 最后对储集层造成了较大的破坏。苏里格庙地区相对较慢的沉降使早期的胶结作用较为发育, 胶结物主要为碳酸盐。这样既防止了压实作用的产生, 又阻止了石英的次生加大; 后期由于碳酸盐的溶蚀, 还产生了新的次生孔隙。

5. 成岩作用的差异

中粗粒石英砂岩和细粒石英砂岩的成岩作用存在着很大差别, 中粗粒石英砂岩在早成岩阶段以胶结作用为主, 接受了外来的二氧化硅胶结。这些二氧化硅胶结物阻碍了化学压实作用。细粒石英砂岩

则以化学压实作用为主, 所溶解的二氧化硅并未以胶结物的形式重新沉淀, 故岩石体积在早成岩阶段强烈减小。当然如果持续下去, 前一种情况粒间孔隙会被次生石英堵死, 后一种情况粒间孔隙会逐步减少, 直到成为不可压缩的纹层状孔隙。由于随后绿泥石的保护作用, 最终结果是只有中粗粒石英砂岩的物性才可能较好。

6. 裂缝对储层物性的改善作用

原来根据岩心观察及薄片分析未发现大量裂缝发育的储集层段, 只局部偶见少量裂缝, 仅占岩石孔隙体积的很少一部分, 故曾认为渗透率的变化主要受孔隙发育程度的控制。但根据对铸体薄片、电镜、物性资料的分析表明, 本区裂缝的发育具有一定的普遍性且裂缝宽度较大, 对渗透率也有明显的改善作用。在此, 笔者特提出应重视裂缝对渗透率的改善作用。本区裂缝以构造缝为主, 次为溶蚀缝, 收缩缝和贴粒缝最少, 在中粗粒砂岩中裂缝相对最为发育。在我国低渗透裂缝性油田中, 开始开发的时候都没有注意到裂缝的重要作用, 而在油田开发的中后期才逐渐显露出来。

三、优质储层的预测指标 ——绿泥石含量

通过对绿泥石扫描电镜的仔细观察, 证明绿泥石主要为自生的。在扫描电镜下, 自生单个绿泥石晶体呈片状, 纤状或束状, 晶形完好。片状绿泥石生长于粒间充填剩余孔或生长于微溶蚀缝中的微晶自生石英之上; 纤状绿泥石主要见于碎屑颗粒边缘, 平行或垂直颗粒生长, 形成等厚的黏土包壳; 束状绿泥石则生长在粒间溶孔中。X 射线衍射分析结果表明, 绿泥石的含量变化很大(图 2)。

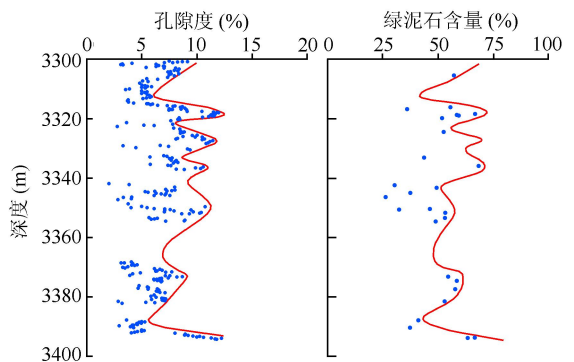


图2 S38-14 井孔隙度和绿泥石含量关系图

绿泥石既有早期沉淀结晶的, 也同后期在碱性条件下黑云母、高岭石、蒙脱石、伊利石向绿泥石转

化有关,其化学反应式如下^[3,4]:

高岭石转化为绿泥石: $1.4\text{Kao} + 2.3\text{Mg}^{2+} + 2.3\text{Fe}^{2+} + 6.2\text{H}_2\text{O} = \text{Chl} + 0.2\text{H}_4\text{SiO}_4 + 9.2\text{H}^+$

蒙脱石转化为绿泥石: $1.8\text{Ca} - \text{Mon} + 1.85\text{Mg}^{2+} + 1.85\text{Fe}^{2+} + 14.8\text{H}_2\text{O} = \text{Chl} + 0.29\text{Ca}^{2+} + 0.46\text{H}_4\text{SiO}_4 + 6.8\text{H}^+$

伊利石转化为绿泥石: $\text{I} + 1.64\text{Mg}^{2+} + 1.85\text{Fe}^{2+} + 8.24\text{H}_2\text{O} = 0.82\text{Chl} + 0.6\text{K}^+ + 1.37\text{H}_4\text{SiO}_4 + 6.46\text{H}^+$

黑云母转化为绿泥石: $\text{Bi} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Chl} + \text{Fe}^{2+} + 2\text{OH}^-$

式中:Kao 表示高岭石;Chl 表示绿泥石;Mon 表示蒙脱石;I 表示伊利石;Bi 表示黑云母。

本区长期的成岩作用时间和较高的成岩阶段为上述反应的充分进行提供了时间和地质流体性质的保证。

本区绿泥石含量和孔隙度发育具有明显的相关性(图2),其原因在于虽然自生绿泥石的生长会减少孔隙,但这种减少是很小和有限度的,对大量样品进行扫描电镜观察表明,自生绿泥石只是在孔隙壁上长成很薄的一层,从未长成2层以上。自生绿泥石晶体的大小只有几个微米。所以,自生绿泥石的生长对孔隙度只有极少的影响。

自生绿泥石含量可以作为指示孔隙度大小的指标有下述两个原因^[5]。①粒间孔中的自生绿泥石作为一种从溶液中结晶的矿物,其形成需要大量流体的活动;而孔隙越发育,就越有利于流体的流动。所以,可以这样说,孔隙度高不一定自生绿泥石含量就高,但自生绿泥石含量高却必然表明孔隙度高、孔隙

的连通性好。②另一个原因是由于自生绿泥石膜的形成,使碎屑石英失去了成核能力,有效地抑制了石英的自生加大,保留了较多的粒间孔。由于绿泥石含量和孔隙度具有明显的相关性,所以可以通过对自然伽马能谱测井的解释研究绿泥石含量的变化,进而预测优质储层的分布。

四、结 论

(1)苏里格气田储层物性受沉积环境(石英含量、碎屑粒度)、异常高压、古地形、成岩作用、裂缝等因素控制。

(2)由于绿泥石含量和孔隙度具有明显的正相关性,所以可以利用自然伽马能谱测井解释黏土矿物类型在平面、纵向上的变化,并据此来预测苏里格气田优质储层的分布情况。

参 考 文 献

- [1] 罗平.中国石油天然气集团公司油气储层重点实验室论文集(2002-2003)[C].北京:石油工业出版社,2004.
- [2] 邹才能,池英柳,李明,等.陆相层序地层学分析技术[M].北京:石油工业出版社,2004:217-227.
- [3] 孙永传,李忠,李惠生,等.中国东部含油气断陷盆地的成岩作用[M].北京:科学出版社,1996:107.
- [4] 罗明高.定量储层地质学[M].北京:地质出版社,1998:25.
- [5] 徐同台,王兴信,张有瑜,等.中国含油气盆地粘土矿物[M].北京:石油工业出版社,2003.

(修改回稿日期 2007-10-31 编辑 居维清)