

文章编号: 1672-1926(2003)01-0053-04

# 有效烃源岩及其与天然气藏关系探讨

李祥臣<sup>1,2</sup>

(1. 中国地质大学(北京), 北京 100083;

2. 中国石化胜利油田有限公司地质科学研究院, 山东 东营 257015)

**摘要:** 在天然气成因研究和勘探中, 确定有效烃源岩和有效成藏组合是非常重要的。对于原型盆地来说, 无论是碳酸盐岩还是泥岩, 其有效烃源岩有机碳丰度下限值均为 0.5%。对于多旋回叠合残留盆地来说, 该有机碳下限值对于二次生烃已不适用。有机质的成熟度不同, 二次生烃有效烃源岩有机碳的下限值也不同, 有机质成熟度  $R_o$  值在 1.0% ~ 1.2% 之间时, 有机碳下限值为 1.5% ~ 1.8%,  $R_o$  值在 1.2% ~ 2.0% 之间时, 有机碳下限值为 1.8% ~ 3.2%,  $R_o$  值在 2.0% ~ 3.0% 之间时, 有机碳下限值为 3.1% ~ 8.4%, 有机质成熟度  $R_o$  大于 4.0%、H/C 比值小于 0.3 的地区, 无论有机碳丰度有多高, 找气藏的希望则相当小。另一类有效烃源是古油气藏的储层沥青和局部残留的液态烃, 由其裂解生成的烃类可以形成轻质油藏和天然气藏, 这些次生油气藏有的再次被改造则形成晚期的天然气藏。因此, 有效烃源岩或有效烃源生、排烃中心的叠加决定了次生油气藏的分布。

**关键词:** 有效烃源岩; 有机碳下限; 二次生烃; 次生气藏

**中图分类号:** TE122.1<sup>+</sup>13

**文献标识码:** A

从宏观上来说, 根据有无烃类的生成通常将沉积岩分为生烃岩和非生烃岩两类, 再根据生成的油气能否从岩石中排出, 将其分为烃源岩和非烃源岩, 最后根据岩石中排出的油气与油气成藏是否有关, 又将其分为有效烃源岩和无效烃源岩。在烃源岩高成熟和过成熟的盆地, 不仅把烃源岩当作油气藏的烃类来源, 同时也把古油藏的沥青和早先聚集的油(气)、水溶气等也作为次生油气藏的烃类来源。在天然气成因和勘探研究中, 确定有效烃源岩和有效成藏组合是非常重要的<sup>[1,2]</sup>。如我国南方中、古生界海相烃源岩, 虽然曾经有过巨量油气的生成与成藏, 但因多期强烈构造作用而已被改造、破坏和复杂化, 而且大部分地区的烃源岩已达到过成熟阶段, 原油已转化为天然气。故而在这样的地区, 首先应弄清有效烃源岩及其与天然气成藏的关系, 才有利于天然气的勘探和开发。

## 1 有效气源岩岩心吸附气的评价标准

岩石吸附气体的特征可用于评价有效气源岩。钻井取心岩石在地面自然条件下(0.1 MPa 室温)

保存时, 岩石吸附气量的主要影响因素是岩性、水湿润状态、孔隙度、温度、保存时间以及有机质含量、类型和成熟度。在相同条件下,  $CO_2$  具有较强的被吸附性, 然后依次是  $C_4H_{10}$ 、 $C_3H_8$ 、 $C_2H_6$ 、 $CH_4$ 、 $N_2$ 、 $H_2$ 。泥岩、碳酸盐岩和砂岩的吸附能力依次减弱。

一个地区或盆地是否存在工业性天然气富集, 是否存在有效气源岩及其优劣程度是首要条件。根据岩石对烃类气体吸附量的实验模拟<sup>[3]</sup>和地质样品的分析结果, 笔者提出了有效气源岩吸附气量评价标准(表 1)。从表 1 可以看出, 与碳酸盐岩相比, 泥岩有效气源岩具有较高的吸附气态烃能力。泥岩有效气源岩的  $CH_4$ 、 $C_2H_6$ 、 $C_3H_8$  和  $C_4H_{10}$  含量一般分别为 73~146 l/t<sub>岩石</sub>、60~170 l/t<sub>岩石</sub>、60~170 l/t<sub>岩石</sub> 和 96~320 l/t<sub>岩石</sub>, 而碳酸盐岩有效气源岩对这些气体的含量分别为 15~30 l/t<sub>岩石</sub>、31~114 l/t<sub>岩石</sub>、31~148 l/t<sub>岩石</sub> 和 64~214 l/t<sub>岩石</sub>。

## 2 烃源岩二次生烃有机碳下限值确定

对于原型盆地来说, 无论是碳酸岩盐还是泥岩, I、II 型有机质为主的有效烃源岩有机碳下限值均

收稿日期: 2002-12-06; 修回日期: 2002-12-20.

作者简介: 李祥臣(1962-), 男, 山东安丘人, 工程师, 主要从事实验分析技术和天然气地质学研究。



为 0.5%, 煤系 III 型有机质的烃源岩有机碳下限值为 1.0%。而对于多旋回叠加残留盆地来说, 该有机碳下限值对于二次生烃已不适用。王新洲<sup>[4]</sup>根据热

模拟试验的烃产率和残碳率数据, 提出了计算二次生烃有机碳下限值的方法(表 2、3)。

根据表 2, 各种类型有机质不同演化阶段烃产

表 1 有效气源岩和气层吸附气量标准

有效气源岩或气层	岩石吸附气量 (l/t 岩石)				
	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	CO <sub>2</sub> 气储层
碳酸盐岩有效气源岩或碳酸盐岩气层	15~30	31~114	31~148	64~214	120~340
泥岩有效气源岩	73~146	60~170	60~170	96~320	

表 2 烃气与液相石油产率(重量)数据表<sup>[4]</sup>

R <sub>o</sub> (%)	气态烃 (kg/tC <sub>残</sub> )				油 (kg/tC <sub>残</sub> )				气+油 (kg/tC <sub>残</sub> )			
	I	II <sub>1</sub>	II <sub>2</sub>	III	I	II <sub>1</sub>	II <sub>2</sub>	III	I	II <sub>1</sub>	II <sub>2</sub>	III
0.40	38	38	36	24	79	76	38	20	117	114	74	44
0.50	67	67	64	44	178	130	67	31	245	197	131	75
0.65	186	141	121	63	307	219	119	101	493	360	240	164
0.75	262	192	154	74	345	255	137	120	607	447	291	194
0.85	311	263	193	88	373	264	137	127	684	527	330	215
1.00	385	340	232	131	361	220	133	112	746	560	365	243
1.25	492	429	274	187	312	185	134	100	804	614	408	287
1.50	590	509	324	236	262	138	106	78	852	647	430	314
1.75	713	574	380	271	173	101	81	52	886	675	461	323
2.00	778	616	436	296	132	80	55	48	910	696	491	344
2.25	845	675	465	317	77	39	36	49	922	714	501	366
2.50	896	728	486	340	13	8	27	31	929	736	514	371
2.75	919	747	498	348	21	7	31	29	940	754	529	377
3.00	940	766	528	364	9	7	10	21	949	773	538	385
3.25	957	784	541	386	6	5	2	2	963	789	543	388
3.50	979	803	554	396	1	1	1	1	980	804	555	397
3.75	991	812	559	403	1	1	1	1	992	813	560	404
4.00	998	820	584	412	1	1	1	1	999	821	584	413

表 3 有机质在不同演化阶段的降解残碳率<sup>[4]</sup>

R <sub>o</sub> (%)	降解残碳率 K <sub>残</sub>			
	I	II <sub>1</sub>	II <sub>2</sub>	III
0.40	1.05	1.05	1.04	1.04
0.50	1.00	1.00	1.00	1.00
0.65	0.94	0.94	0.96	0.96
0.75	0.91	0.91	0.93	0.94
0.85	0.88	0.89	0.91	0.92
1.00	0.84	0.85	0.88	0.89
1.25	0.79	0.81	0.85	0.85
1.50	0.75	0.77	0.82	0.82
1.75	0.71	0.73	0.79	0.80
2.00	0.68	0.71	0.77	0.78
2.25	0.66	0.68	0.75	0.76
2.50	0.63	0.66	0.73	0.74
2.75	0.61	0.64	0.71	0.72
3.00	0.59	0.62	0.70	0.71
3.25	0.57	0.60	0.68	0.70
3.50	0.56	0.59	0.67	0.68
3.75	0.54	0.57	0.66	0.67
4.00	0.53	0.56	0.65	0.66

率(Q<sub>1</sub>)与终极烃产率(Q)的比率关系(R<sub>o</sub>=4.0%时为终极烃产率), 和以连续生烃的烃源岩有机碳丰度下限值为基准, 可建立多旋回叠加残留盆地有效烃源岩二次生烃的有机碳下限值计算公式。

以 I—II 型有机质为主的烃源岩二次生烃有机碳下限值计算公式:

$$C_{\text{二次}}\% = 0.5Q / (Q - Q_1) - 0.5(1 - K_{\text{残}}) \quad (1)$$

式中: C<sub>二次</sub>% 为二次生烃有机碳下限值; Q 为终极烃产率; Q<sub>1</sub> 为一次烃产率; Q 和 Q<sub>1</sub> 取表 2 中 II<sub>1</sub> 型的油+气值; K<sub>残</sub> 为一次生烃终止时的残碳率, 取表 2 中 II<sub>1</sub> 型的值。

煤系 III 型有机质烃源岩二次生烃的有机碳下限值计算公式:

$$C_{\text{二次}}\% = 1.0Q / (Q - Q_1) - 1.0(1 - K_{\text{残}}) \quad (2)$$

式中符号意义与公式(1)相同, Q、Q<sub>1</sub> 取表 2 中 III 型的油+气值, K<sub>残</sub> 取表 3 中 III 型的值。

表 4 仅列出 R<sub>o</sub> 值小于 2.5% 的一些有机碳丰度

下限值数据,当烃源岩成熟度  $R_o$  值大于 2.5% 时,烃源岩为储层直接提供烃的量很少。通过对表 2 热模拟结果的计算可以得出,当  $R_o = 2.5\%$  时,油气总产率已占终极烃产率的 85% 左右,生气强度锐减。一般情况下,在  $R_o > 2.5\%$  的地区,烃源岩二次生烃形成气藏的可能性很小。

根据表 2、表 3 数据以及公式(1)、公式(2)计算的不同成熟度烃源岩二次生烃的有机碳下限值列于表 4。

表 4 烃源岩二次生烃的有机碳下限值数据

$R_o$ (%)	$C_{\text{二次}}$ (%)	
	I—II型有机质	III型有机质
0.65	0.86	1.62
0.75	1.05	1.83
0.85	1.34	2.01
1.00	1.50	2.32
1.25	1.89	3.13
1.50	2.24	3.99
1.75	2.68	4.39
2.00	3.14	5.77
2.25	3.68	8.55
2.50	4.66	9.57

另外,在一些地区,烃源岩虽未抬升,但由于构造运动,由其先前形成的油气藏已被破坏。因此研究这些烃源岩继续生烃能力时,也存在确定有机碳下限值问题。同样可用公式(1)和公式(2)进行计算,然后用排烃系数进行校正就可确定其有机碳下限值。

### 3 天然气生、聚、散的动态平衡

一般情况下,只有气源岩达到生气高峰时才能形成天然气藏,而气藏形成后必须有气源岩的不断新生成的天然气的补充。如果源岩生成天然气的速度不断下降,则气藏储存的天然气就不断减少,直到气藏枯竭。气源岩生气高峰的时代越晚,天然气藏开始形成的时代就越晚。无论圈闭形成的时间早晚,天然气藏的形成总要等到气源岩演化到生气高峰时才能实现。并且,天然气藏形成的时间越晚,持续到现在的时间就越短,散失过程持续的时间就越短,天然气的散失、渗漏损失总量就越小并有利于气藏的形成并保存至今。因此,目的层系的沉降和生气时代是否较新,特别是持续沉积的时代是否较新就成为找气非常重要的条件。对于我国南方广大古生界来说,

生气时代都比较老,如果干酪根的  $H/C < 0.3$ ,则表明源岩演化程度很高( $R_o > 4.0\%$ )和已停止生气,如果  $H/C < 0.2$ ,则表明停止生气的时代已很长,气藏中的天然气已基本全部散失,找气的希望相当小。

### 4 古油气藏与现代气藏的关系

当油气藏下面的烃源岩成熟度  $R_o$  值大于 2.5% 时,烃源岩为储层直接提供的烃量就很小,而此时古油藏中原油的成熟度相对于气源岩的要低得多。当古油藏原油随埋深裂解成天然气时,在一定条件下天然气就继续保存在古油藏中并转变成气藏。在古构造演化过程中该古气藏常遭受破坏,并引起天然气的再次转移和再分配而形成次生气藏。另外,这种再分配的天然气主要通过断层垂向运移到中浅层成藏,随后也可进行横向运移,形成新的次生气藏。以上气源的分布决定了次生气藏的分布,甚至在某些地区成为唯一的勘探目标。在南方那些具有高过成熟源岩的盆地,古油藏和古气藏作为有效气源的重要性与有效气源岩等价。在气源有机质  $R_o > 2.5\%$  的地区,其作为有效气源的价值远远超过有效气源岩本身,因此追踪古油气藏的分布和寻找气藏是有效成藏组合研究方面的重要方向之一。

### 5 水溶气作为有效气源的条件

当构造抬升,继承性古构造内的水溶气由于压力下降而达到过饱和状态时,天然气就从水中脱出并占据构造顶部空间,逐渐将水压出顶部空间部位,形成次生气藏。这种水溶气也为有效气源。其次,饱和水溶气因大量褶皱与断裂形成时的减压降温而脱出,脱出的游离气沿断裂、裂缝和局部不整合面所组成的输导系统垂向运移到有效圈闭中动态平衡成藏,这可能是饱和水溶气作为有效气源的另一种成藏模式。但是,伴随着水通过断裂“高速通道”垂向流动到圈闭中形成次生水溶气藏的未饱和水溶气不能看作有效气源。

从地质时期角度来看,水溶气和水溶气藏能否保存下来的条件与气藏的保存条件基本相同。在同一个盆地,由于构造运动对古气藏的破坏和对古水溶气藏的破坏一般是同步的,气藏难于保存的地区其水溶气藏也难于保存,后者无法再为晚期次生气藏供气。水溶气要成为晚期次生气藏的有效气源,其前期保存条件很重要。必须结合具体的盆地具体情况来研究水溶气自身的保存条件和作为有效气源的条件。

## 6 结 语

通过对与有效气源岩相关的几个问题的研究,探讨了在天然气生、聚、散动态保存条件下,天然气成藏与有效烃源岩之间的关系。特别指出,对于高过成熟和复杂地质背景的盆地首先要回答是否存在晚期成藏有效烃源的问题,如果存在,是以有效气源岩为主,还是以储层沥青和原油裂解气为主,还是以水溶气为主。弄清这些问题,对于天然气的勘探和开发至关重要。

## 参考文献:

- [1] 孔志平, 吴震权. 中国天然气勘探开发现状及发展趋势[J]. 天然气工业, 1998, 18(2): 1-4
- [2] 戴金星. 我国天然气资源及其前景[J]. 天然气工业, 1999, 19(1): 3-6
- [3] 李剑主编. 中国重点含气盆地气源特征与气源丰度[M]. 北京: 中国矿业大学出版社, 2002
- [4] 王新洲, 宋一涛, 王学军. 石油成因与排油物理模拟——方法、机理与应用[M]. 东营: 石油大学出版社, 1996

## STUDY ON EFFECTIVE HYDROCARBON SOURCE ROCKS AND RELATIONSHIP BETWEEN THEM AND NATURAL GAS RESERVOIRS

LIXiang-chen<sup>1,2</sup>

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. Geological Scientific Research Institute, Shengli Oil Field Ltd. Co., SINOPEC, Dongying 257051, China)

**Abstract** In the study of natural gas genesis and exploration, it is still our major task to determine effective hydrocarbon source rocks and accumulation assemblage. In terms of primitive basin, the low limit of organic carbon in effective hydrocarbon source rocks (whether carbonate rock limit or shale) is 0.5%. While in polycyclic superimposed basin, this value is not suitable to secondary hydrocarbon generation. The limits of secondary hydrocarbon generation in different maturation stages are as follows: when  $R_o$  is 1.0% ~ 1.2%, the limit is 1.0%; when  $R_o$  is 1.2% ~ 2.0%, the limit is 2.0%; when  $R_o$  is 2.0% ~ 3.0%, the limit is 4.0%; While when  $R_o$  is more than 4.0% and  $H/C$  is less than 0.3, there are little probability to find gas reservoir regardless organic carbon abundance. The other effective hydrocarbon sources are reservoir bitumen and local residual liquid hydrocarbons in palaeoreservoirs. They can crack into light oil pools and gas reservoirs. And a few of these secondary pools were reformed once again into late gas reservoirs. So, the distribution of secondary reservoirs are determined by effective hydrocarbon source rocks and center superposition of generation and migration of effective hydrocarbon sources.

**Key words** Effective hydrocarbon source rocks; Low limits of organic carbon; Secondary hydrocarbon generation; Secondary pools