

碳酸盐岩油气二次运移距离与成藏

周波¹,金之钧¹,云金表¹,白国平²

[1. 中国石化石油勘探开发研究院,100083; 2. 中国石油大学(北京),北京 102249]

摘要:通过统计全世界主要含油气盆地229个碳酸盐岩大油气藏(田),分析油气藏(田)和油气二次运移的距离,发现在碳酸盐岩运移系统内,油气二次运移距离和油气田个数之间的关系曲线并没有碎屑岩中出现的指数衰减关系。其油气藏总体以近源成藏为主,但对于非近源运移的油气而言,油气运移的距离对油气成藏几率的控制作用并不明显。分析认为,对于碳酸盐岩非近源运移,油气往往受断裂展布特征和孔洞类储层的分布范围所控制,只要在这个范围内,油源足够的前提下,油气成藏的几率是相当的。因此,对于碳酸盐岩系统而言,只要在断裂和孔洞类储层的延伸范围内,即使在较远的距离条件下,仍然具有较高的大油气藏成藏几率。

关键词:运移距离;二次运移;碳酸盐岩;油气成藏

中图分类号:TE122.3 **文献标识码:**A

Secondary oil migration distance and hydrocarbon accumulation in carbonate rocks

Zhou Bo¹, Jin Zhijun¹, Yun Jinbiao¹, Bai Guoping²

[1. Exploration & Production Research Institute, SINOPEC, Beijing 100083, China;

2. China University of Petroleum(Beijing), Beijing 102249, China]

Abstract: In this paper, we statistically analyzed the secondary hydrocarbon migration distances of 229 large carbonate oil and gas fields within the major petroliferous basins in the world. It is found that the secondary hydrocarbon migration distances and number of oil/gas fields within carbonate migration systems show no exponential decay relationship as the clastic migration systems. Carbonate reservoirs are generally proximal to source rocks. However, for reservoirs distal to source rocks, the migration distance has no obvious control on the probability of hydrocarbon accumulation. For reservoirs distal to source rocks, oil and gas distribution are generally controlled by the distribution pattern of faults and the distribution range of carbonate reservoirs of vuggy-cavernous type. Given sufficient hydrocarbon supply, the possibility of hydrocarbon accumulation remains almost consistent with such a range. Therefore, even at a long distance, as long as it is within the distribution range of faults and reservoir rocks of the vuggy-cavernous type, the probability of hydrocarbon accumulation can be relatively high.

Key words: migration distance, secondary migration, carbonate rock, reservoir accumulation

油气二次运移是指油气由烃源岩层进入运载层后的一切运移,是油气成藏过程中最重要的部分^[1-4],同时也是目前石油地质学研究的难点问题之一。

油气二次运移按方向分为垂直运移和侧向运移,运移距离在垂向上最大只有数千米,而侧向运移的距离小到烃源岩和圈闭相邻,大到几百千米^[5-10]。加拿大阿尔伯塔盆地泥盆系碳酸盐岩和白垩系碎屑岩中油气运移距离长达500 km^[11]。

总体上来讲,不管是碳酸盐岩油气藏还是碎屑岩油气藏,只要控制油气运移距离的因素适合^[12],油气

运移的距离都可近可远。相对而言,碳酸盐岩地层内通道的非均质性强^[13-14],从中国目前发现的碳酸盐岩油气藏来看,二次运移的距离都不大,这说明在一定程度上非均质性对油气运移的距离和成藏几率有影响^[15]。然而前人研究没有对油气藏进行分类统计^[15],而建立在综合统计基础上的结果显示油气成藏几率和油气藏与烃源的距离成正相关,这种统计结果没有考虑碳酸盐岩这种二次运移通道非均质性较强的情况。

因此,本文通过统计世界主要盆地的大型碳酸盐

岩油气藏与烃源距离的数据,讨论碳酸盐岩油气成藏与油气二次运移的关系,以期对碳酸盐岩油气勘探提供参考。

1 碳酸盐岩油气二次运移距离与成藏几率

胡朝元(2005)等人^[16],通过统计全世界200个地区和成油系统的油气运移数据,对其运移距离分析发现(图1),大油气田集中分布在0~50 km这个范围内,超过100 km油气成藏的几率非常小。油气运移距离和油气田的个数存在反比关系,随着油气二次运移距离的增加,油气田的个数发生明显的递减。总体上油气田个数曲线呈现一种类偏正态曲线。该统计中并没有区分油气成藏系统的岩性特征,没有区分碎屑岩和碳酸盐岩的差异。

本文搜集整理了USGS(1995年,2000年,2012年)、IHS商业数据库(资料截至2013年6月)、C&C(资料截至2013年底)、ExxonMobil和StatoilHydro石油公司等多方面的数据资料。统计了全世界主要碳酸盐岩盆地总共229个大油气藏(田)(表1)。由于资料来源较多,故没有对其油气藏运移距离的定义方式进行严格区分。由于统计范围内没有统计到二次运移距离大于100 km的油气藏,因此,图中没有大于100 km的油气藏数据。所有油气藏均为碳酸盐岩油气藏(田)。

通过统计发现,碳酸盐岩油气藏个数分布曲线(图2)和图1的曲线差异明显,主要的164个油气藏(田)的二次运移距离都局限在0~10 km。可以说碳酸盐岩油气运移的距离更近,更趋向于近源成藏。然而,当进一步分析二次运移距离大于10 km的油气田个数,则发现,随着二次运移距离的增大,油气藏(田)的个数并没有出现明显的减少,从10~100 km范围内,每10 km为一个单位,油气藏的个数基本上在一个量级范围内波动,没有出现油气藏个数随油气运移距离快速衰减的显著规律。

为了进一步确定造成这种结果的原因是否和油气藏规模有关联,文章进一步把上述229个大油气藏(田)的油气当量(探明储量)和油气二次运移距离关系绘制成直方图(图3),结果发现,油气当量和二次运移距离之间的关系和图2的曲线近似,绝大多数的油气储量集中在0~10 km范围内,但离开10 km这个范围,油气藏的储量也没有出现明显的衰减变化。需要说明的是,由于图3纵坐标是以亿桶为单位,因此距离较远的油气藏规模也不小。

按照England^[8](1987)的分析,假设在一个不受空间限制的理想圆形盆地内,油气二次运移距离和油

气藏数量应该成指数关系,油气藏数量随距离呈指数衰减,图1的统计特征和这种推理近似。而从图2和图3的特征来看,不管是油气油气藏(田)个数还是油气的储量数据,在100 km范围内,油气二次运移出现一个阶梯状特征,即在小于10 km范围内,油气成藏的几率非常大,其成藏的数量和规模都占统计数据的大多数。而当运移距离大于10 km时,油气成藏的几率和运移距离则没有明显关系。

本文把0~10 km的运移距离看作近源运移,而大于10 km的距离则为非近源运移。故在碳酸盐岩系统内,油气成藏机会和油气运移距离成阶梯状特征,油气藏的大多数存在于近源范围内,属于近源运移;而在非近源运移范围内,油气运移距离对成藏几率的制约并不明显。

2 运移模式

前文通过统计发现,在碳酸盐岩油气藏内,对于非近源运移而言,碳酸盐岩油气成藏几率和油气运移距离的关系不明显。而前人的研究认为,即使在非近源范围内,油气成藏的几率也是随着距离发生递减的^[8,16]。到底这种统计结果是否有其合理性呢?本文通过几个运移的模型分析一下油气成藏几率和距离的关系,进而论证上述形成上述结论的可行性。

图4是根据Ledoc油气田油气成藏结果绘制的一张剖面模式图,烃源在图的左下方。根据该油气田的成藏结果,可以看出,靠近烃源的圈闭,油气成藏的几率明显大于远源的圈闭。具体分析该油气藏通道组成特征可以发现,有效盖层直接覆盖于有效储层之上,油气运移的通道就是有效储层本身,也就是说,整个储层可以粗略的看作一个通道,其运移输导体系的组合方式是顶面构造和有效储层,有效储层在纵向上没有明显的非均一性。

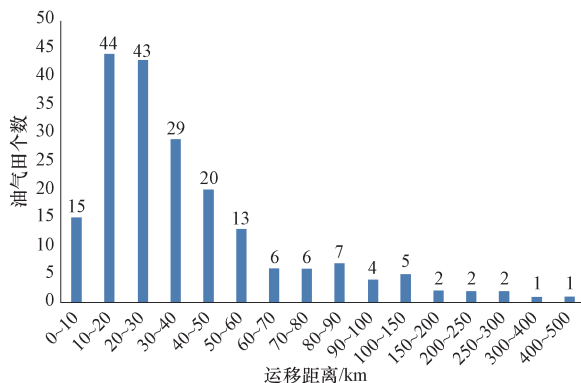


图1 油气运移距离频率直方图(据胡朝元修改,2005^[16])

Fig. 1 Frequency histogram of oil and gas migration distance (modified from Hu Chaoyuan, 2005^[16])

表1 世界碳酸盐岩油气田运移距离统计
Table 1 Migration distance statistics of the carbonate oil and gas fields in the world

序号	油田名称	储集层	侧向运移 距离/km	油当量/ (10 ⁸ bbl)	序号	油田名称	储集层	侧向运移 距离/km	油当量/ (10 ⁸ bbl)
1	Samin 1	J ₂ /J ₃	0	5	49	Magarib 1	J ₃	0	7
2	Gomez	O	0	5	50	Lab-E-Safid	E ₃ /K ₂ /N ₁	0	7
3	Puckett	O	0	5	51	Khor Mor	E ₃ /N ₁	0	7
4	Cowden North	P	10	5	52	Suhul 1	J ₃	0	7
5	Chemchemal	E ₂ , E ₃ , K ₂ /N ₁	0	5	53	Pol	E ₁ , K ₂ , K ₁ , J ₃	37	7
6	Qasab 02	K ₂ /N ₁	20	5	54	Dibdibah 1	J ₃	0	7
7	Blinbry-Drinkard	P	54	5	55	Pamuk Janubiy	J ₂ , J ₃	16	7
8	Faridah 1	J ₂ , J ₃	0	5	56	Umm Lulu / Al Mutarid	K ₁	0	7
9	Sand Hills	P	24	5	57	Gashu South	E ₂ /E ₃ /J ₃ /K ₁ /K ₂ /N ₁	84	8
10	Sitio Grande	K ₂ , K ₁	65	5	58	Umm Gudair South	J ₃ , K ₁	0	8
11	Iride	K ₂ , K ₁ , J ₃	60	5	59	Ramshir	E ₃ /K ₂ /K ₁	0	8
12	Vacuum	P	29	5	60	Kabir Kuh	J ₁ /P ₃	0	8
13	Badrah	K ₁	0	5	61	Khabbaz	K ₁ /K ₂ /N ₁	0	8
14	Mender	K ₁	0	5	62	Sadawi 1	J ₃	0	8
15	Amatitlan	J ₃ , J ₂	127	5	63	Zaap	E ₂ , J ₃	20	8
16	Samandepi	J ₂ , J ₃	0	5	64	Jawb 1	J ₃	0	8
17	Rafidain	K ₁ /K ₂	0	5	65	Rimtham 1	J ₂ , J ₃	0	8
18	Sahba 1	J ₃	0	5	66	Mansuriyah	E ₃ /K ₂ /N ₁	0	8
19	Giraldas	K ₂	50	5	67	Seminole	S - D	15	8
20	Abu Ghirab	E ₃ /K ₂	0	5	68	Qaiyarah	K ₂ /N ₁	18	9
21	Cactus	K ₂ , K ₁ , J ₃	52	5	69	Goldsmith (Andector)	P	26	9
22	Bahi (032 - A)	E ₁ /K ₂	22	6	70	Hail 3	J ₂ /J ₃ /K ₁ /P ₃ /T ₁	0	9
23	Miran West 1	J ₁ /J ₂ /J ₃ /K ₁ /K ₂	0	6	71	Hout	K ₁ /K ₂	0	9
24	Keystone	O	0	6	72	Qaleh Nar	E ₃ /K ₂ /N ₁	0	9
25	Fullerton	P	23	6	73	South Sand Belt	P	4	9
26	Nargesi	E ₃ /N ₁	26	6	74	Kandym	J ₂ , J ₃	24	9
27	Bagaja	J ₂ , J ₃	0	6	75	Qirdi	J ₃	0	9
28	Jana 1	J ₃ /P ₃	0	6	76	Najmah	K ₂ /N ₁	25	9
29	McElroy (Dune)	P	2	6	77	Arous El Bahar	E ₂	144	9
30	Azar	K ₂	0	6	78	Tecominoacan	K ₂	15	9
31	Chuc	E ₁ , K ₂ , K ₁	40	6	79	Kerpichli	J ₂ , J ₃	0	10
32	Cowden South	P	3	6	80	Margham	K ₁	27	10
33	Mansurabad	E ₃ /K ₂ /N ₁	0	6	81	Sajaa	J ₁ /J ₃ /K ₁	55	10
34	Tuba	K ₁ , K ₂	0	6	82	Dehluran	E ₃ /K ₂ /N ₁	0	10
35	Khashm Al Ahmar 1	N ₁	0	6	83	Noura 1	J ₁ , J ₂	0	10
36	Urtabulak	J ₂ , J ₃	4	6	84	Suban 1	J ₃	0	10
37	Lekhwair	K ₁	43	6	85	Jawan	K ₂ /N ₁	45	10
38	Shadegan	E ₃ , K ₂ , N ₁	0	6	86	Shaikan 1	J ₁ , K ₁ , T ₃	0	10
39	Humapa	K ₂ , K ₁ , J ₃ , J ₂	110	6	87	Fallujah	K ₂	0	10
40	Coyol	K ₂ - K ₁	106	6	88	Idd El Shargi North Dome	J ₂ /J ₃ /K ₁ /P ₃ /T ₁	0	10
41	Tawke	E ₂ /K ₁	0	6	89	Maloob	J ₃	25	10
42	Paranj	E ₃ /N ₁	0	6	90	Saath Al Raaz Boot	J ₂ /J ₃ /P ₃ /T ₁	0	10
43	Natih	K ₁ , K ₂	0	6	91	Lughfah 1	J ₃	0	11
44	Maleh Kuh	K ₂	0	7	92	Susangerd 1	E ₃ /K ₁ /K ₂ /N ₁	64	11
45	Naft Safid	E ₃ /K ₂ /N ₁	0	7	93	Cunduacan	K ₂ , K ₁ , J ₃	55	11
46	Jaria Pika	E ₂ /E ₃ /N ₁	0	7	94	Ramin	E ₃ /K ₂ /N ₁	0	11
47	Cardenas	K ₁ , J ₃	16	7	95	Alan	J ₂ , J ₃	2	11
48	Satah	J ₂ /J ₃ /P ₃ /T ₁	0	7	96	Ahdab	K ₂	0	11

续表1 世界碳酸盐岩油气田运移距离统计

Table 1 (continued) Migration distance statistics of the carbonate oil and gas fields in the world

序号	油田名称	储集层	侧向运移 距离/km	油当量/ (10 ⁸ bbl)	序号	油田名称	储集层	侧向运移 距离/km	油当量/ (10 ⁸ bbl)
97	Balal	J ₃ /K ₁ /K ₂ /P ₂ /P ₃	20	11	145	Kokdumalak	J ₂ , J ₃	0	20
98	Reshadat	J ₃ /K ₁ /K ₂ /P ₃	0	11	146	Sharar 1	J ₂ , J ₃ , K ₁	0	21
99	Lawhah	K ₂ /P ₃ /T ₁	0	11	147	Dammam	J ₃ , K ₂ , P ₃	0	21
100	Qara Chauq	J ₃ /K ₁ /T ₃	0	11	148	Samaria	K ₂ , K ₁ , J ₃	58	21
101	Nasr	J ₃ /K ₁ /P ₃ /T ₁	40	12	149	Umm Niqa	J ₁ , J ₂ , J ₃	0	21
102	Ruhaya 2	J ₁ , J ₂	0	12	150	Balad	K ₂	0	22
103	Sirri E	K ₂	0	12	151	Al Dabb'iya	J ₃ /K ₁	0	22
104	Arabiyah	P ₃ , T ₂	0	12	152	Wasson	P	68	23
105	Jujo	J ₃	22	12	153	B-Structure 1	N ₁ , P ₃ , T ₁ , T ₂	0	24
106	Augila-Nafoora	E ₁ /E ₂ /K ₁ /K ₂	17	12	154	Gialo	E ₁ /E ₂ /K ₁ /K ₂ /J ₃	0	24
107	Gharraf	K ₁ /K ₂	0	12	155	Haft Kel	E ₃ /N ₁	0	24
108	Dengizkul-Hauzak-Shady	J ₂ , J ₃	2	12	156	Harmaliyah	J ₃ /P ₃	0	25
109	Ku	E ₂ , J ₃	30	13	157	Fateh	K ₁ /K ₂ /P ₃	0	25
110	Intisar(103 - A)	E ₁	0	13	158	Suwaidiyah	K ₂ /T ₂ /T ₃	42	25
111	Dahra East-West	E ₁	17	13	159	Defa	E ₁ /K ₂	0	25
112	Maydan Mahzam	J ₂ /J ₃	0	13	160	Khangiran	J ₃	72	25
113	Beda(047 - B)	E ₁	1	14	161	Nassiriyah	K ₁ /K ₂	0	25
114	Abkatun	E ₁ , K ₂ , K ₁	40	14	162	Bul Hanine	J ₂ /J ₃ /P ₂ /T ₁	0	26
115	Abu Jifan	J ₃	0	14	163	Ratawi	K ₁ , K ₂	0	26
116	Fadhili	J ₂ /J ₃	0	14	164	Ghasha	J ₂ /J ₃	0	27
117	Dorra	k ₁ , K ₂	0	14	165	Mazalij	J ₃	0	27
118	Sahil	K ₁	0	14	166	Ab-E-Teimur	K ₂	32	27
119	Poza Rica	K ₂ , K ₁ , J ₂	85	15	167	Yibal	K ₁ /K ₂ , P ₃ , T ₁	0	28
120	Zarrarah 2	K ₁	0	15	168	Nasser	E ₁ /E ₂ /K ₂	0	28
121	Masjid-I-Sulaiman	E ₃ /J ₂ /N ₁	0	15	169	Kuh-I-Mand 2	E ₂ , K ₂ , P ₃ , T ₁	145	28
122	Barda Rash 1	J ₁ , J ₂ , J ₃ , K ₁ , K ₂ , T ₁ , T ₂ , T ₃	0	15	170	Hasbah	K ₁ /K ₂ /P ₃	50	28
123	Fahud	K ₁ , K ₂	22	15	171	Karan	J ₃ , P ₃	0	30
124	Sarkhun	E ₂ , E ₃ , N ₁	104	15	172	Safaniya	J ₁ /J ₂ /K ₁ /K ₂	0	31
125	Abu Al Bukhoosh	J ₃ /K ₁ /P ₁ /P ₂ /P ₃ /T ₁	44	16	173	Marjan	J ₁ /J ₂ , J ₃ , K ₁ , K ₂	0	32
126	Dhib 1	J ₃	0	16	174	Hugoton	P	40	33
127	Ajeel	J ₂ , J ₃ , N ₁	0	16	175	Zuluf	J ₁ , J ₂ , K ₁	0	33
128	Shah	J ₃ /K ₁ /K ₂	0	16	176	Salman	J ₃ /K ₁ /P ₃ /T ₁	0	34
129	Buzurgan	E ₃ , K ₂	0	17	177	Minagish	J ₁ /J ₂ , J ₃ , K ₁ , K ₂	0	36
130	Slaughter	P	5	17	178	Yadavaran	K ₁ , K ₂	45	36
131	Zeloi	E ₃ , K ₁ , K ₂ , N ₁	0	17	179	Darquain	J ₁ , J ₂ , K ₁ , K ₂	45	36
132	Kupal	E ₃ /K ₂ /N ₁	0	17	180	Waha(059 - A)	E ₂ /K ₂	0	37
133	Al Khaffi	K ₁ , K ₂	0	17	181	Shurtan	J ₂ , J ₃	46	39
134	Binak	E ₃ , K ₁ , K ₂ , N ₁ , T ₁	0	17	182	Raudhatain	J ₁ , J ₂ , J ₃ , K ₁	0	39
135	Zevardy	J ₂ , J ₃	5	17	183	Zubair	E ₃ , K ₁ , K ₂ , N ₁	0	40
136	Fateh Southwest	K ₁ /K ₂	0	18	184	Al Shaheen	K ₁ , K ₂	20	41
137	Hamrin	E ₃ /K ₂ /N ₁	0	18	185	Ferdows	K ₁ /P ₃ /T ₁	18	42
138	Abu Hadriya	J ₂ , J ₃	0	19	186	Wafra	E ₂ , J ₁ /J ₂ /J ₃ /K ₁ /K ₂	0	43
139	Abdaliyah	J ₁	0	19	187	Akal(Cantarell)	E ₂ , K ₂ , J ₃	47	45
140	Jambur	K ₁ /K ₂ /N ₁	0	19	188	Mansuri	E ₃ /K ₁ /K ₂ /N ₁	0	46
141	Scurry	C	38	19	189	Awali	J ₂ , J ₃ , K ₁ , K ₂ , P ₁ , P ₂	0	47
142	Intisar(103 - D)	E ₁ /E ₂	0	19	190	Doroud	E ₃ , J ₃ , K ₁ , N ₁	10	47
143	Yates	P	20	20	191	Umm Gudair	J ₁ , J ₂ , J ₃ , K ₁	0	48
144	Jaladi 1	J ₃	0	20	192	Bai Hassan	E ₂ , E ₃ , K ₁ , K ₂ /N ₁	0	48

续表

序号	油田名称	储集层	侧向运移 距离/km	油当量/ (10 ⁸ bbl)	序号	油田名称	储集层	侧向运移 距离/km	油当量/ (10 ⁸ bbl)
193	Sabriya	J ₁ /J ₂ , J ₃ , K ₁ , K ₂	0	49	212	Rag-E-Safid	E ₃ /K ₁ /K ₂ /N ₁	0	151
194	Khursaniyah	J ₃ , K ₁ , P ₃	0	51	213	Bab	J ₃ /K ₁	0	177
195	Halfaya	K ₁ /K ₂ /N ₁	0	52	214	Ahwaz	E ₃ /K ₁ /K ₂ /N ₁	0	188
196	Parsi	E ₃ /N ₁	0	54	215	Marun	E ₃ /K ₁ /K ₂ /N ₁	0	194
197	Azadegan	J ₁ , K ₁ , K ₂	30	67	216	Agha Jari	E ₃ /K ₁ /K ₂ /N ₁	0	195
198	East Baghdad	K ₁ /K ₂	0	67	217	Manifa	J ₃ /K ₁	0	198
199	Karanj	E ₃ /K ₁ /N ₁	0	68	218	Berri	J ₂ , J ₃ , P ₃	0	206
200	Nahr Umr	E ₃ /K ₁ /N ₁	6	76	219	Abqaiq	J ₃ , P ₃	0	218
201	Bibi Hakimeh	E ₁ , E ₂ , E ₃ , K ₁ , K ₂ , N ₁	0	79	220	Greater Burgan	J ₁ /J ₂ /J ₃ /K ₁	0	221
202	Dukhan	J ₂ , J ₃ , P ₃ , T ₁ /T ₃	0	80	221	Gachsaran	E ₃ /J ₁ /J ₂ /J ₃ /K ₁ /K ₂ /N ₁	0	227
203	Pazanan	E ₃ /K ₁ /N ₁	0	88	222	Khurais	J ₂ /J ₃ /P ₃	0	231
204	Abu Safah	J ₃ , P ₃	0	93	223	Zakum	J ₂ /K ₁ /P ₃ /T ₁	0	236
205	Yashlar	J ₂ , J ₃	0	110	224	Galkynysh (Yoloten)	J ₂ , J ₃	0	246
206	Qatif	J ₂ , J ₃ , P ₃	0	110	225	Kirkuk	E ₂ , E ₃ , K ₁ , K ₂ /N ₁	0	265
207	Asab	K ₁	0	111	226	Shaybah	J ₃ /K ₁	0	299
208	Um Ash Shef	J ₂ /J ₃ /K ₁ /P ₃ /T ₁	10	117	227	West Qurna	J ₂ , J ₃ , K ₁ , K ₂ , N ₁	0	486
209	Majnoon	K ₁ /K ₂	0	118	228	Ghawar	J ₂ /J ₃ /P ₃	0	1,726
210	Rumaila North & South	E ₃ , J ₂ , K ₁ , K ₂ /N ₁	0	130	229	North Field	P ₃ , T ₁	0	1,927
211	Bu Hasa	J ₃ /K ₁	0	133					

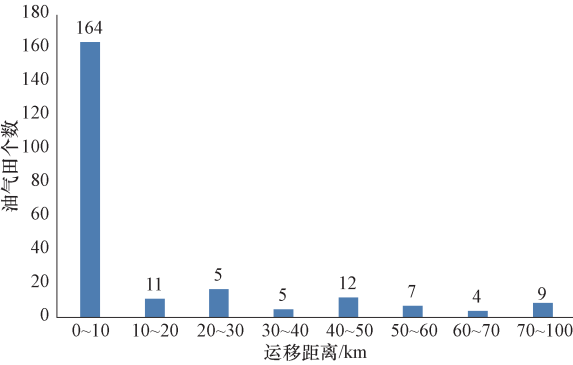


图 2 世界油气田个数和运移距离关系

Fig. 2 Relationship between hydrocarbon migration distances and number of oil and gas fields in the world

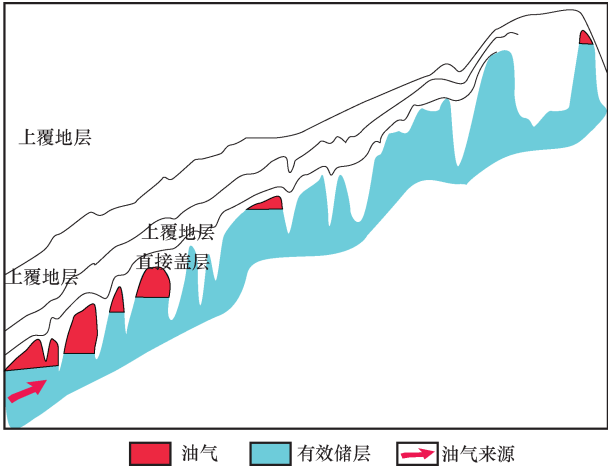


图 4 油气侧向运移模式(据 Ledoc 油田剖面修改)

Fig. 4 Model of lateral oil and gas migration
(modified from Ledoc reservoir section)

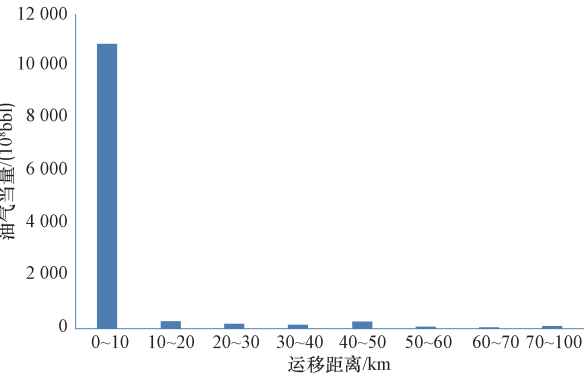


图 3 世界油气田储量和运移距离关系

Fig. 3 Relationship between reserves and migration distances of the oil and gas fields in the world

然而,曾溅辉^[17]等人对非均质性的储盖组合开展运移模拟实验,得到图 5 的实验结果,实验中,不同砂层储层渗透率关系为:砂层 4 > 砂层 3 > 砂层 1 > 砂层 2。图中,可以将砂层 4 近似看作一个具有高渗透率的断裂通道。运移结果发现,油气并没有优先进入渗透率最好,且距离油源(注油进口)最近的砂层 3,而是优选了距离最远的砂层 1。产生这个结果的原因是砂层 4 作为高速运移通道,油气优先选择其运移,进而组成了以砂层 4 作为高速运移通道体系的运移聚集体系,显然,在高速运移通道体系内,顶部是最优先成藏的部位,因此造成了距离油源远的砂层优先成藏的结果。

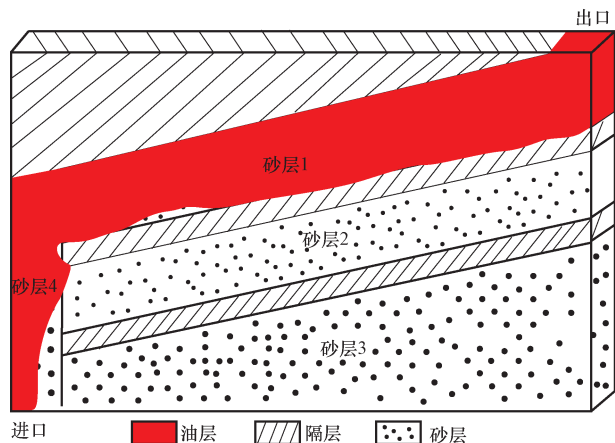


图5 非均质储层油气运移过程示意图(据曾溅辉等,2000^[17])

Fig. 5 Schematic diagram showing oil migration process in heterogeneous reservoirs (from Zeng Jianhui, 2000^[17])

因此,笔者认为,在非均质储层中,如果存在一个高速运移的通道,最终控制油气运移成藏距离的核心因素是这个高速运移通道的展布特征和高速通道内油气运移特征,和烃源与圈闭的距离关系并不明显。为此本文绘制了一个碳酸盐岩内存在高速运移通道情况下的油气运移模型,用于解释油气运移距离和成藏几率的关系。

碳酸盐岩内的断裂和孔洞类岩溶通道往往是油气运移的高速公路,这种通道是普遍存在的,把二者抽象成一个带状的高速通道,得到图6。在图中,油气二次运移高速通道的渗透率参数相对圈闭内的储层较高,这时候,当油气从烃源岩出发开始运移时,油气优先进入绿色的高速通道,并且优先在高速通道顶部的圈闭内成藏,直接盖层下的圈闭成藏顺序按照图中的数字,从1号运移路径到3号运移路径依次成藏,如果油气足够充足的前提下,油气继续往下方的圈闭内依次充注。很显然,在这种高速通道存在的前提下,离烃源岩较近的圈闭由于处于低势区,反倒成了最后成藏的位置。

而在碎屑岩(砂岩)地层中,油气运移往往沿着储集层顶面盖层底面发生运移,运移的特点表现为以油气源为中心,油气成藏几率和运移距离成反比。

3 分析讨论

按照前人对世界上主要碳酸盐岩油气藏储层类型的总结^[18],把目前的储层类型分为以下几类:不整合下储层、白云岩储层、鲕粒和团粒滩储层、生物礁储层、微孔隙储层及微裂缝储层。如果从运移通道的角度来看,可以看作颗粒状通道(白云岩储层、鲕粒和团粒滩储层)、孔洞类通道(生物礁储层、不整合)和裂缝类通道(微孔隙及裂缝)三大类别。其中白云岩和滩类储层的基质孔隙度比较低,因此油气运移的距离应该非

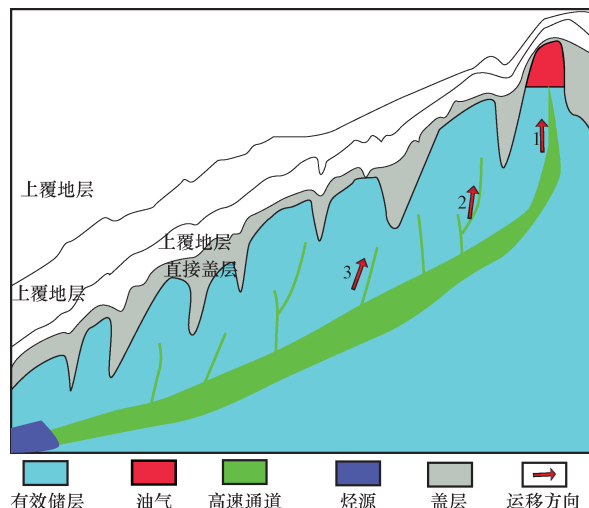


图6 碳酸盐岩高速通道运移通道存在下的油气运移模式

Fig. 6 Oil and gas migration model in the existence of the high speed migration pathway in carbonate rocks

常有限。而孔洞类通道和裂缝类通道的渗透率通常比较高,可以构成油气二次运移的高速运移通道。

孔洞类通道通常和孔洞类储层的分布面积有关,只要孔洞是连通的,油气会充满(油源充足的前提下)所有连通范围内的孔洞。因此,在储层连通范围内,成藏和距离的关系不大,主要和孔洞类储层的分布范围和连通特征有关。

裂缝类通道发生的运移主要和断裂相关,通常,断裂在开启阶段,断裂范围内具有高效的连通性,断裂本身具有汇聚油气运移通道的特征^[19-22],可以作为高速运移的通道,因而油气的运移往往被断裂通道所控制,所有的油气成藏都和断裂相关,只要在断裂控制范围内(微孔隙及裂缝连通),油气成藏的几率也和距离的关系也不明显。

因此本文认为,对于碳酸盐岩油气藏,运移范围处于非近源条件下,如果存在高速运移通道,油气往往受断裂展布特征和孔洞类储层的分布范围所控制,只要在这个范围内,油源足够的前提下,油气成藏的几率是相当的。因此,对于碳酸盐岩系统而言,只要在断裂和孔洞类储层的延伸范围内,即使在较远的距离条件下,仍然具有较高的大油气藏成藏几率。而碳酸盐岩内普遍存在高速运移通道,故可以认为,在高速运移通道的展布范围内(可近可远),油气成藏的几率主要受控于高速通道和圈闭的组合特征,和距离的关系并不明显。

4 结论

1) 通过分析统计数据,本文认为,在碳酸盐岩系统内,油气成藏几率和运移距离具有阶梯状特征。油气成藏仍然以近源运移为主,但对于非近源运移的油

气而言,油气运移的距离对油气成藏几率的控制作用并不明显。

2) 对于非近源运移,碳酸盐岩往往存在一个由断裂或者孔洞组成的高速运移通道,油气藏的分布往往受断裂展布特征和孔洞类储层的分布范围所控制,只要在这个通道范围内,油源足够的前提下,油气成藏的几率是相当的。因此,对于碳酸盐岩系统而言,只要在断裂和孔洞类储层的延伸范围内,即使在较远的距离条件下,仍然具有较高的大油气藏成藏几率。

参 考 文 献

- [1] 金之钧,张发强. 油气运移研究现状及主要进展[J]. 石油与天然气地质,2005,26(3):263-270.
Jin Zhijun,Zhang Faqiang. Status and major advancements in study of hydrocarbon migration [J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(3): 263-270.
- [2] 李明诚. 对油气运聚研究中一些概念的再思考[J]. 石油勘探与开发,2002,29(2):13-16.
Li Mingcheng. Reconsideration on some concepts in research of hydrocarbon migration and accumulation [J]. Petroleum Exploration and Development,2002,29(2):13-16.
- [3] 罗晓容. 油气运聚动力学研究进展及存在问题[J]. 天然气地球科学,2003,14(5):337-346.
Luo Xiaorong. Review of hydrocarbon migration and accumulation dynamics [J]. Natural Gas Geoscience,2003,14(5):337-346.
- [4] 罗晓容. 油气成藏动力学研究之我见[J]. 天然气地球科学,2008,19(2):149-156.
Luo Xiaorong. Understandings on dynamical studies of hydrocarbon migration and accumulation [J]. Natural Gas Geoscience,2008,19(2):149-156.
- [5] Luo X R,Zhou B,Zhao S X,et al. Quantitative estimates of oil losses during migration,Part I:Thesaturation of pathways in carrier beds [J]. Journal of Petroleum Geology,2007,30(4):375-387.
- [6] Luo X R,Yan J Z,Zhou B,et al. Quantitative estimates of oil losses during migration,Part II:Measurement of the residual oil saturation in migration pathways [J]. Journal of Petroleum Geology,2008,31(2):179-189.
- [7] Luo X R. Simulation and characterization of pathway heterogeneity of secondary hydrocarbon migration [J]. AAPG Bulletin,2011,95(6):881-898.
- [8] England D A. The movement entrapment of petroleum fluid in the surface [J]. Journal of Geological Society,1987,144(2):327-347.
- [9] Bekele E B,Person M A,Rostron B J,et al. Modeling secondary oil migration with core-scale data:Viking Formation,Alberta basin [J]. AAPG Bulletin,2002,86(1):55-74.
- [10] Tissot B P. Migration of hydrocarbon in sedimentary basins:A geological,geochemical and historical perspective [C] // Doligez B. Migration of Hydrocarbons in Sedimentary Basins. Paris:Editions Technip,1984:1-26.
- [11] 朱光有,杨海军,张斌,等. 油气超长距离运移[J]. 岩石学报,2013,29(9):3192-3203.
Zhu Guangyou,Yang Haijun,Zhang Bin,et al. Ultra-long distance migration of hydrocarbon [J]. Acta Petrologica Sinica,2013,29(9):3192-3203.
- [12] Creaney S,Allan J. Hydrocarbon generation and migration in the Western Canada sedimentary basin [M] // Brooks J. Classic petroleum provinces. London:Special Publication,1990,50(1):189-202.
- [13] 曹剑,胡文瑄,张义杰,等. 准噶尔盆地油气沿不整合运移的主控因素分析[J]. 沉积学报,2006,24(3):399-405.
Cao Jian,Huwxuan,Zhang Yijie,et al. The main factor controlling petroleum migration along unconformity in the Junggar Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica,2006,24(3):399-405.
- [14] 马永生,郭彤楼,朱光有,等. 硫化氢对碳酸盐储层溶蚀改造作用的模拟实验证据——以川东飞仙关组为例[J]. 科学通报,2007,52(增刊):136-141.
Ma Yongsheng,Guo Tonglou,Zhu Guangyou,et al. Hydrogen sulfide dissolution and alteration of carbonate reservoir simulation experimental evidence to Feixianguan Formation in East Sichuan Basin as an example [J]. Science Bulletin,2007,52(S1):136-141.
- [15] 朱光有,张水昌,张斌,等. 中国中西部地区海相碳酸盐岩油气藏类型与成藏模式[J]. 石油学报,2010,31(6):871-878.
Zhu Guangyou,Zhang Shuichang,Zhang Bin,et al. Reservoir types of marine carbonates and their accumulation model in western and central China [J]. Acta Petrolei Sinica,2010,31(6):871-878.
- [16] 胡朝元. “源控论”适用范围量化分析[J]. 天然气工业,2005,25(10):1-7.
Hu Chaoyuan. Research on the Appliance extent of “Source control Theory” by semi-quantitative statistics characteristics of oil and gas migration distance [J]. Natural Gas Industry,2005,25(10):1-7.
- [17] 曾贻辉,金之钧. 油气二次运移和聚集物理模拟 [M]. 北京:石油工业出版社,2000:72-82.
Zeng Jianhui,Jin Zhijun. Laboratory simulation of secondary oil migration and accumulation [M]. Beijing:Petroleum Industry Press,2000:72-82.
- [18] 范嘉松. 世界碳酸盐岩油气田的储层特征及其成藏的主要控制因素[J]. 地学前缘,2005,12(3):23-30.
Fan Jiasong. Characteristics of carbonate reservoirs for oil and gas fields in the world and essential controlling factors for their formation [J]. Earth Science Frontiers,2005,12(3):23-30.
- [19] 云金表,周波,金之钧. 断裂带对油气运聚控制作用探讨:以塔里木盆地阿克苏库勒凸起与塔中低隆为例[J]. 地学前缘,2013,20(5):126-131.
Yun Jinbiao,Zhou Bo,Jin Zhijun. A discussion on the impact of fault belt on the oil migration:A case study of Akeule uplift and Tazhong uplift in Tarim Basin [J]. Earth Science Frontiers,2013,20(5):126-131.
- [20] 云金表,周波. 塔里木盆地塔中隆起及北围斜区断裂体系与油气成藏关系[J]. 世界地质,2014,33(1):137-144.
Yun Jinbiao,Zhou Bo. Relationship between fault system and reservoir forming in Tazhong uplift and north slope area in Tram Basin [J]. Global Geology,2014,33(1):137-144.
- [21] 任朝波,丁文龙,塔里木盆地雅克拉断凸断裂形成演化分析[J]. 石油地质与工程,2014,28(3):23-26.
Ren Chaobo,Ding Wenlong. The fault evolution of the Yakela Uplift and its analysis in Tarim Basin [J]. Petroleum Geology and Engineering,2014,28(3):23-26.
- [22] 李才,王昕,张海义,渤海海域庙西北洼陷新生代断裂特征及对油气成藏的控制作用[J]. 石油地质与工程,2012,25(1):10-12.
Li Cai,Wang Xin,Zhang Haiyi,et al. Cenozoic fracturing characteristics of Miaoxibei depression and its control on hydrocarbon accumulation [J]. Petroleum Geology and Engineering,2012,25(1):10-12.

(编辑 张亚雄)