

# 晚期成藏对大气田形成的重大作用

戴金星<sup>1</sup> 卫延召<sup>1</sup> 赵靖舟<sup>1,2</sup>

(1. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083; 2. 西安石油学院, 陕西 西安 710065)

**摘要:**截至 2001 年底, 中国发现 21 个大气田, 累计探明天然气储量  $17\,953 \times 10^8 \text{m}^3$ , 占全国天然气总储量的 59.80%。天然气的分子小、重量小、难被吸附而易扩散。成藏早的大气田, 若无继续获得气源, 随扩散时间增长损失气量不断增加, 使大气田演变为中、小型气田, 甚至散失殆尽。因此, 晚期成藏是大气田形成的必要条件之一。中国盆地具有多旋回性, 多旋回性往往是后续的旋回损害和降低前旋回聚集气藏的保存条件和储量, 故晚期成藏就避免此弊, 有利于大气田的形成。晚期成藏的大气田的生气高峰期既可是与成藏期同步或基本同步, 以及储集层与气源岩的层位较新, 也可以是成气高峰期比成藏期早, 储集层和气源岩层位老。

**关键词:**大气田; 控制因素; 晚期成藏; 中国

**中图分类号:** P618.130.1    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1000-3657(2003)01-0010-10

研究、勘探和开发大气田是快速发展一个国家天然气工业的重要途径。20 世纪后半叶, 世界天然气工业高速发展, 是各国寻找大气田的结果<sup>[1]</sup>。大气田是天然气工业发展的基石, 目前, 俄罗斯、美国、加拿大、英国和荷兰等世界产气大国, 均以发现和开发大气田为支柱跻身产气大国<sup>[1-5]</sup>。大气田对加速发展天然气工业的重大意义是显而易见的, 但发现大气田并非易事。据 20 世纪 90 年代初统计: 在世界进行油气勘探的 400 个沉积盆地中, 已发现油气田的盆地为 215 个, 其中只有 33 个发现了大气田, 后者仅占勘探油气盆地总数的 8%, 也就是说发现油气的 12 个盆地中只有 1 个有大气田<sup>[6]</sup>。因此, 为了加速天然气工业的发展及提高勘探大气田的效益, 研究大气田形成的主要控制因素已成为世界油气地质的主要课题之一, 我国也不例外。

## 1 大气田及其主控因素

(1) 大气田的划分。目前, 世界各国及各学者对大气田的划定在储量多少和储量级别上没有统一标准。在储量级别上我国和原苏联是探明储量; 欧美各国为可采储量。在划定大气田起限储量上更是不同,

即使是同一学者, 不同时期提出的划定标准也不一致。例如: 哈尔布特(T.M.Helbouty), 1968 年认为可采储量为  $283 \times 10^8 \text{m}^3$  的气田就属于大气田了, 而 1970 年哈尔布特等则把可采储量为  $991 \times 10^8 \text{m}^3$  的气田才列入大气田。在众多的划分大气田标准中最小的是可采储量大于  $135 \times 10^8 \text{m}^3$ ; 最大的为探明储量  $1\,000 \times 10^8 \text{m}^3$  和可采储量  $991 \times 10^8 \text{m}^3$ 。多数油气地质学者认为把原始探明储量大于  $1\,000 \times 10^8 \text{m}^3$  (或相当于此的可采储量) 气田列为大气田较适宜<sup>[1,6]</sup>。

俄罗斯和我国的油气储量分类把原始探明储量  $300 \times 10^8 \text{m}^3$  以上的气田称为大气田。本文将以此标准来划分我国的大气田。

(2) 中国的大气田。2001 年底, 中国在 6 个盆地(四川、鄂尔多斯、塔里木、柴达木、莺琼和东海)共发现了 21 个大气田(未包括台湾省)(图 1、表 1), 累计探明天然气储量  $17\,953 \times 10^8 \text{m}^3$ , 占全国天然气总储量的 59.80%。由表 1 和图 1 可见我国大气田中以煤成气田占多数, 煤成大气田达 16 个, 其探明煤成气总储量为  $15\,595 \times 10^8 \text{m}^3$ , 占全国大气田总储量的 86.86%。煤成大气田占全国天然气总探明储量的 51.94%。由此可见, 煤成气特别是煤成大气田对我

表1 中国大气田一览表  
Table 1 Large gas fields of China

盆地	气田	储量 ( $10^8\text{m}^3$ )	探明时间 (年)	主力气层	储层主要 岩性	主要气源岩	气的类型
四川	新场	512.28	1994	J <sub>2</sub> , J <sub>3</sub>	砂岩	T <sub>3</sub> 煤系	煤成气
	磨溪	375.72	1987	T <sub>2</sub> , T <sub>3</sub>	碳酸盐岩	P <sub>2</sub> 煤系	
	卧龙河	380.52	1959	T, C <sub>2</sub> , P <sub>1</sub>	碳酸盐岩	S, P <sub>1</sub> 海相泥页岩、 灰岩; P <sub>2</sub> 煤系	油型气
	五百梯	587.11	1993	C <sub>2</sub> , P <sub>2</sub>	碳酸盐岩		
	沙坪场	397.71	1996	C <sub>2</sub>	碳酸盐岩		
威远	408.61	1965	Zn, P <sub>1</sub>	碳酸盐岩	∈海相泥页岩		
鄂尔多斯	靖边	2 766.28	1992	O <sub>1</sub> , P	碳酸盐岩, 砂岩	C-P煤系、C海相 泥岩、灰岩为主	煤成气
	榆林	1 132.81	1997	P, O <sub>1</sub>	砂岩为主		
	乌审旗	1 012.10	1999	P	砂岩	C-P煤系	
	苏里格	2 204.75	2001	P	砂岩		
长东	358.48	1999	P	砂岩			
塔里木	牙哈	376.45	1994	E, N <sub>ij</sub>	砂岩	J煤系	油型气
	克拉2	2 840.29	2000	K, E	砂岩		
	和田河	616.94	1998	O, C <sub>2</sub>	碳酸盐岩	∈海相泥岩、 泥质碳酸盐岩	
柴达木	台南	425.30	1989		砂岩	Q含泥碳的泥岩	煤成气
	涩北二号	422.89	1990	Q <sub>1</sub> , Q <sub>2</sub>	砂岩		
	涩北一号	492.22	1991		砂岩		
莺琼	崖13-1	884.96	1990	E	砂岩	E煤系	煤成气
	东方1-1	996.80	1995	N	砂岩		
	乐东22-1	431.04	1997	N	砂岩		
东海	春晓	330.43	1998	E <sub>2</sub> , E <sub>3</sub>	砂岩		

国天然气工业的发展具有重大的意义。

由表1可见,中国近15年以来,大气田发现的储量变大数目变多,“七五”期间之前仅发现2个大气田(威远、卧龙河)。“七五”期间发现大气田4个,探明储量 $2\,108.87\times 10^8\text{m}^3$ ;“八五”期间和“九五”期间分别发现6个和8个大气田,探明储量分别为 $5\,731.66\times 10^8\text{m}^3$ 和 $7\,119.8\times 10^8\text{m}^3$ 。与大气田发现储量变大数目变多的同时,一方面推动了全国天然气储量增长连续翻番:“七五”、“八五”和“九五”期间天然气储量分别探明为 $616\times 10^8\text{m}^3$ 、 $1\,394\times 10^8\text{m}^3$ 和 $2\,308\times 10^8\text{m}^3$ ;另一方面促进了我国天然气年产量增高:解放后我国天然气年产量达到 $100\times 10^8\text{m}^3$ (1976年)用了29年,平均年增产气 $3.48\times$

$10^8\text{m}^3$ ;从 $100\times 10^8\text{m}^3$ 增加至 $200\times 10^8\text{m}^3$ 用了20年,平均年增产气量 $5.00\times 10^8\text{m}^3$ ,从 $200\times 10^8\text{m}^3$ 增至 $300\times 10^8\text{m}^3$ 仅用4年,平均年增产气 $25.00\times 10^8\text{m}^3$ 。中国近15年来探明天然气储量连续翻番,近期天然气年产量增幅变大,显然与发现大气田数目变多储量变大密切相关。西气东输工程的启动是受克拉2大气田发现的推动;2003年下半年西气东输工程从靖边向上海开始输气,气源来自苏里格大气田;陕京输气管线向北京供气是由于开发了靖边大气田。总之,中国近期天然气工业进入快速发展,归功于一批大气田的发现与开发。

世界上产气大国(年产量在 $500\times 10^8\text{m}^3$ 以上),均是依靠发现和开发大气田的,世界天然气第

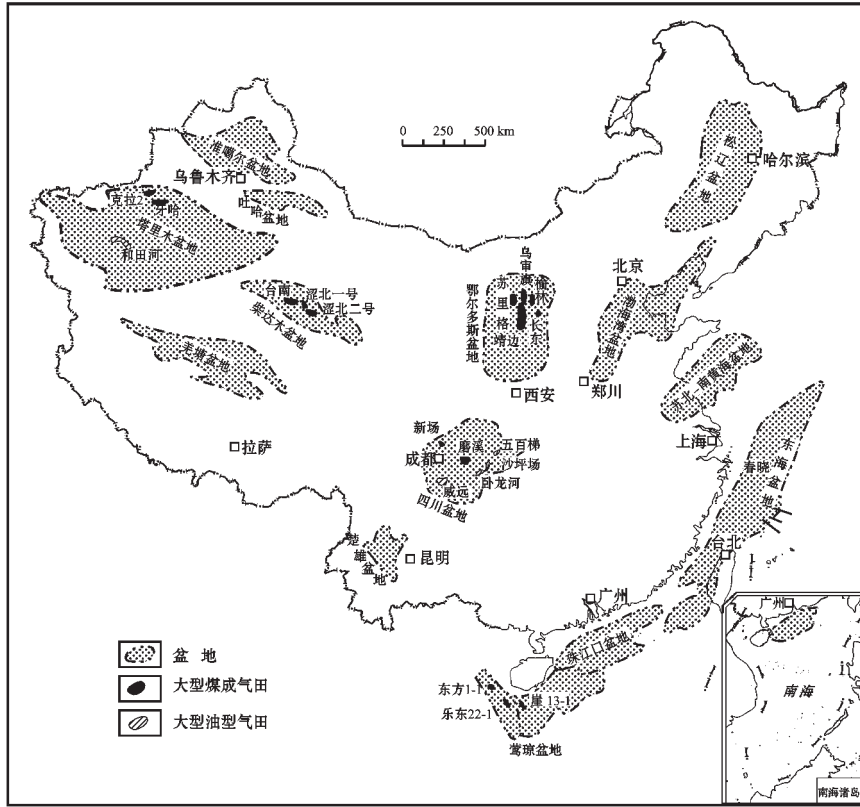


图1 中国大气田分布

Fig.1 Distribution of large gas fields in China

一大国俄罗斯(前苏联)是最好的例子。前苏联由于发现与开发超大型气田和大气田,使之从贫气国跃为“天然气沙特”。1940年,全苏探明天然气储量只有 $150 \times 10^8 \text{m}^3$ ,年产气 $32.19 \times 10^8 \text{m}^3$ (其中87%是巴库油田的伴生气)。1950年,苏联还被认为是贫气的国家,探明天然气储量不足 $2\,230 \times 10^8 \text{m}^3$ ,年产气 $57.6 \times 10^8 \text{m}^3$ 。1960~1990年,苏联天然气探明储量从 $18\,548 \times 10^8 \text{m}^3$ 增长到 $45\,3069 \times 10^8 \text{m}^3$ ,天然气年产量从 $453 \times 10^8 \text{m}^3$ 增长到 $8\,150 \times 10^8 \text{m}^3$ ,增加了近17倍。这是因为在此期间发现了40多个超大型气田(每个气田储量超过 $5\,000 \times 10^8 \text{m}^3$ )和大气田(气田储量 $300 \times 10^8 \text{m}^3$ 至 $5\,000 \times 10^8 \text{m}^3$ )。由于这些超大型气田和大气田的发现并部分开发投产,促进苏联天然气工业持续高速发展,1983年起天然气年产量超过美国,成为世界第一产气大国<sup>[4]</sup>。苏联瓦解后,俄罗斯领域虽变小了,著名的中亚含气区分离出去了,但俄罗斯仍然是世界天然气储量和年产量第一大国,目前,俄罗斯天然气储量占世界的32%,年产量占

世界的35%。支撑俄罗斯天然气皇冠地位的还是超大型气田和大气田。俄罗斯共发现气田770个。2000年初俄罗斯探明天然气储量 $48.11 \times 10^{12} \text{m}^3$ ,其中73.1%的储量在22个超大型气田中,24.1%储量在104个大气田中,而648个中、小气田的总储量只占俄罗斯天然气总储量的2.8%。西西伯利亚盆地乌连戈伊超大型气田和亚姆堡超大型气田,1999年共产气 $3\,470 \times 10^8 \text{m}^3$ <sup>[7]</sup>,是世界年产量最多的两个气田,此两气田产气量占该年俄罗斯和世界总产气量的58.8%和14.7%。

大气田的发现和开发使荷兰从能源进口国一跃成为能源出口国。荷兰1958年天然气可采储量不足 $740 \times 10^8 \text{m}^3$ ,年产气仅 $2 \times 10^8 \text{m}^3$ ,进口能源。但1959年发现可采储量 $2 \times 10^{12} \text{m}^3$ 的格罗宁根大气田,该气田1970年全面投入开发并于1976年年产量达 $963 \times 10^8 \text{m}^3$ 。由此,荷兰向德国、法国和比利时出口天然气<sup>[4]</sup>。

大气田的发现和开发对一个国家天然气工业

的发展既然有如此重大的作用,所以如何研究发现大气田就成为热门课题,探索大气田形成的分布规律或主要控制因素是快速发展天然气工业的一把金钥匙。

(3)大气田的主控因素。大气田形成的主要控制因素已有较多的研究成果,从研究内容上可分为两大类。

一类研究以宏观控制因素为主,如大地构造单元、盆地类型及大小、地理位置(纬度)、地质时代、储集层岩类、圈闭类型和天然气成因类型等等<sup>[1,2,8-13]</sup>。从大地构造单元与盆地类型因素综合可以肯定,大气田主要分布在构造稳定的克拉通(年轻和古老)盆地,前陆盆地也有些大气田。但以整个盆地尺度作为因素来预测大气田,范围太大,难以有效选定勘探大气田的有利地区而加速发现大气田。特别在中国油气地质条件比国外复杂,多旋回运动显著,故仅研究大气田形成的宏观性、方向性的控制因素是不够的。

另一类在控制大气田宏观因素的基础上,着重研究大气田形成的半定量和定量的注重可操作性的主控因素,为勘探大气田有利区提供更切实的科学依据,缩小主攻范围,以便有的放矢提高大气田勘探成功率。“七五”期间以来关于大气田(“七五”至“九五”国家天然气重点科技攻关常称大中型气田,指探明储量大于 $100\times 10^8\text{m}^3$ 的气田)形成定量的和半定量的因素研究成果丰富<sup>[14-30]</sup>,概括主要有如下主控因素:①发育在生气中心及其周缘(生气强度大于 $20\times 10^8\text{m}^3/\text{km}^2$ );②成藏期晚(主要在新生代);③位于低气势区或地层;④成气区内古隆起圈闭和气聚集带中;⑤煤系中或上、下与之有关圈闭中;⑥异常高压封存箱上和箱间;⑦新生代后期强烈沉陷中心的圈闭;⑧天然气资源丰度大于 $0.3\times 10^8\text{m}^3/\text{km}^2$ 。①和⑧具有定量性;③、⑥和⑦为半定量性;②、④和⑤为具体化、目标性强的主控因素。以上8个大气田形成的主控因素,若某区块或聚集带(圈闭)具有两个甚至更多的因素,则发现大气田的概率高;若相互矛盾者发现大气田的概率则低。“六五”国家天然气重点科技攻关以来,大气田形成的定量的和半定量的主控因素研究,有力地指导了我国大气田的发现。例如:我国目前探明储量 $1000\times 10^8\text{m}^3$ 以上的克拉2、靖边、苏里格、榆林和乌审旗5个大气田,且已作过科学的预测<sup>[9]</sup>。因此,深入研究大气田形成的主控因素,对加速发展中国天然气工业有重大意义。由于定

量的、半定量的研究大气田形成的主控制因素,有众多的成果<sup>[14-32]</sup>,并且有的主控因素已作了相当深入同时被认为是极有效的因素,例如生气强度对大气田形成的控制作用,故不重复赘述。以下仅对控制大气田形成另一极重要因素,而且目前尚有待深化和阐明原因的晚期成藏对大气田形成的重大作用作进一步探索。

## 2 晚期成藏在大气田形成中的重大作用

中国学者从“七五”国家天然气科技攻关开始就注意研究晚期成藏对大(中)型气田形成的重大作用,戚厚发等<sup>[14]</sup>首先研究和指出晚期成藏对大中型气田形成的意义。从此至今10多年来许多学者对其作了研究<sup>[14-16,18,19,22-24]</sup>,但美中不足的是对晚期成藏在大气田形成的重大作用的原因分析探讨甚为肤浅以至未及。

大气田的要求成藏期比大油田的晚更苛刻。从图2可知:除了鄂尔多斯盆地大气田成藏期在白垩纪外,我国所有的大气田均成藏于新生代的古近纪、新近纪和第四纪,即成藏期晚。但大油田成藏期有晚的也有相当早的,以塔里木盆地为例:蒋炳南等<sup>[26]</sup>指出:塔里木盆地所有的大、中、小型气藏均是晚期成藏的,即喜马拉雅晚期和末期成藏的,也就是说大、中、小型气藏是100%晚期成藏;但油藏则不同,大、中、小型油藏成藏期有海西晚期、海西晚期—印支期、燕山晚期、燕山晚期—喜马拉雅早期、喜马拉雅中、晚和末期,其中成藏期早的即海西晚期成藏的油藏占20.69%,塔中4大型油藏就是海西晚期成藏的。塔里木盆地油藏中只有69.96%,即只有约2/3的油藏是晚成藏的(燕山晚期—喜马拉雅各期)。由上可见,无论从全国或塔里木盆地,大气田形成晚期成藏是重要的控制因素,但对于大油田不一定是晚期成藏,有相当部分还是早期成藏。近来我国有的学者强调大油田也是晚期成藏就不够全面了,因为大油田有早期成藏,否则会延误大油田的勘探和发现。为什么大气田形成苛刻要求成藏期晚,大油田则可宽松些,主要的原因是气的各组分的分子直径小,极易扩散,损失速率大,而油的各组分的直径相对大,扩散慢,损失速率低。

### 2.1 气分子小重量小易扩散而扩散速率大

天然气的分子小(表2)、重量小,难被吸附而易扩散。例如:氦是气中分子直径最小的仅为

2.0×10<sup>-10</sup>m(表 2),其重量仅为空气的 5/36,故有很强的扩散能力,储存于一般玻璃瓶中的氦可以经瓶壁扩散到大气中。由于氦很轻,故可以脱离地球引力场并进入宇宙空间。因此,氦原子在大气圈中停留的平均时间只有几百万年。

扩散主要有两种,即浓度扩散和温度扩散。由于油的分子比气的大;石油中正烷烃分子直径为 4.8×10<sup>-10</sup>m 或更大,环己烷直径为 5.4×10<sup>-10</sup>m、杂环结构分子直径为 (10~30)×10<sup>-10</sup>m、沥青分子直径为 (50~100)×10<sup>-10</sup>m。物质的扩散能力随分子量变大呈指数关系减少。对烃类来说实际上只有碳原子在 C<sub>1</sub>-C<sub>10</sub> 的烃才真正具有扩散运移的作用<sup>[33]</sup>,也就是说气分子扩散能力强而石油的扩散能力是很弱的。这就决定了大气田必须晚期成藏,而大油田未必都要晚期成藏,早期成藏也可形成大油田。

聚集气藏中的天然气相对上覆地层既是高浓度又是高温度的,因此,气藏中的天然气是不断向上覆地层扩散而减少。赋存于地层中的天然气随其分子变小和埋藏变浅其扩散的数据变大。在 1737m 深处的气藏中,甲烷、乙烷、丙烷和丁烷由于扩散运移,从离开气藏到地面所需时间分别为 14 Ma、170 Ma、230 Ma 和 270 Ma<sup>[34]</sup>。甲烷和丁烷在不同深度向上垂直扩散运移速率见图 3。因此,如果成藏早的大气田,成藏后再没有气源不断供给,即使其他保存条件好,没有变化,但由于扩散,储量也不断减少,可使大气田变为中、小型气田,甚至散失殆尽,我国不乏其例。

松辽盆地昌德气田目前地质储量 117.08×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>,是个中型气田。气藏从泉头组沉积末期形成至今 125.1 Ma,各时期扩散损失储量共 205.47×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>(表 3)<sup>[35]</sup>,也就是说昌德气田在泉头组末期成藏时是个储量为 322.55×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup> 的大气田。但由于成藏早了,因扩散使之目前变为中型气田。

鄂尔多斯盆地西缘的刘家庄气田,在 50 Ma 前还是个储量为 454.9×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup> 的大气田,但由于成藏期早了,在成藏后的 50 Ma 时间内由于扩散散失天然气量达 453×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>,故目前仅是个储量只有 1.9×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup> 的小气田<sup>[25]</sup>。如果其在 5 Ma 即在古近纪、新近纪晚成藏,如今应还是个大气田。

甲烷在浅层比之在深层扩散量大,这在塔里木盆地大宛齐油气田的溶解气中表现得十分清楚,陈义才等指出<sup>[36]</sup>:大宛齐油气田溶解气在 4.5 Ma 内,

表 2 天然气的主要组分的分子直径

Table 2 Molecule diameters of main components of natural gas

气体名称	分子直径 (10 <sup>-10</sup> m)	气体名称	分子直径 (10 <sup>-10</sup> m)	气体名称	分子直径 (10 <sup>-10</sup> m)
甲烷	3.8	正戊烷	5.8	氩	2.9
乙烷	4.4	二氧化碳	3.9	氦	2.0
丙烷	5.1	氮	3.8	氢	2.8
异丁烷	5.3	硫化氢	3.6		

浅层的埋深 300~400 m 的上部油层甲烷扩散散失比率为 54%,而深层的埋深 450~650 m 的下部油层扩散散失比例为 13%。同时该油气田上部油层和下部油层甲烷和乙烷由于上下油层扩散不同,还形成溶



图 2 中国大气田成藏期

- 1—主要源岩;2—次要源岩;3—成油高峰期;
- 4—成气高峰期; 5—圈闭形成期;6—古构造形成期;
- 7—成藏期;8—一次成藏期;9—二次成藏期

Fig. 2 Accumulation periods of large gas fields of China  
 1—Main hydrocarbon source rocks; 2—Subordinate hydrocarbon source rocks; 3—Oil-generating peak period; 4—Gas-generating peak period; 5—Trap-forming period; 6—Paleo-structure-forming period; 7—Accumulation period; 8—Primary accumulating period; 9—Secondary accumulating period

表 3 松辽盆地昌德气田天然气扩散散失时间及扩散量  
Table 3 Natural gas diffusion time and diffusion halo in the Changde gas field, Songliao basin

地质时期	扩散时间(Ma)	扩散量(10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> )
嫩四段至今	101.33	167.50
嫩一段至嫩三段	7.77	12.70
姚家组	4.50	7.59
青山口组	11.50	17.68
总 计	125.1	205.47

解气组分的变化:上部油层气组分相对变湿,下部油层则相对变干(表 4)。

鄂尔多斯盆地上古生界中 4 个大气田(乌审旗、榆林、苏里格和长东)的砂岩储层基本上具有在高处和上层为干层,而低处和下层是气藏<sup>[37]</sup>。对此有多种解释:有的认为是深盆地<sup>[38]</sup>,有的认为是砂岩致密导致,作者认为气藏的长期扩散作用是其中一个重要因素,因为浅部的高层位的天然气扩散比深部的下层的强的多,损失的也多多。

2.2 盆地的多旋回性要求大气田晚期成藏

多旋回性(多次褶皱-多次圈闭形成、多次抬升间断和沉降、多期构造断裂、多期岩浆活动、多套生储盖组合和多次成藏等等)是中国盆地的重要特征。为了行文方便,把多次褶皱,多期岩浆活动等称为旋回性的项素。多旋回性要求我国大油、气田,特别是大气田晚期成藏。多次褶皱、多次抬升和沉降、多次成藏、多期构造断裂活动和多期岩浆活动等多旋回性对大气田形成和存在常起负面作用,即往往使早期成藏的大气田受到破坏或从巨大气田变为一般大气田和中、小型气田。只有晚期成藏才避免了多旋性的破坏功能,有利于天然气完好保存而利于发现大气田。由于多旋回性在不同盆地出现项素数和强度有异,故不同盆地其对大气田的影响也不一。

四川盆地是我国最稳定的盆地之一,即使如此也具有多旋回性。四川盆地川东地区发现气田多、储量大。该区在圈闭形成和成藏方面明显具有多旋回性,但与活动性大的渤海湾盆地相比,其多旋回项素数少而强度低。川东地区开江古隆起圈闭是印支期基本定型,燕山期继续发育,开江古隆起古近纪初石炭系顶面闭合面积 2 812 km<sup>2</sup>,闭合度 450 m,也就是

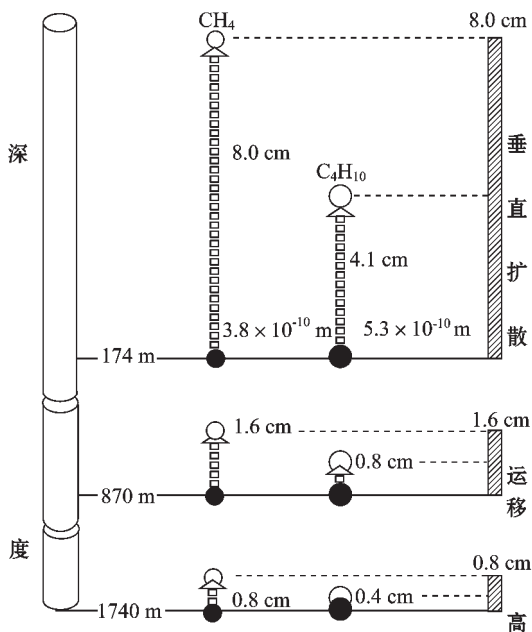


图 3 甲烷和丁烷在不同深度地层中向上垂直扩散运移(cm/ka)

Fig. 3 Vertical upward diffusion of methane and ethane in strata at different depths (cm/ka)

表 4 塔里木盆地大宛齐油气田溶解气扩散量及其组分变化

Table 4 Diffusion halo and change of composition of dissolved gas in the Dawangqi oil-gas field, Tarim basin

油层	埋深(m)	初始浓度(m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	不同时间段的扩散量(m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )			4.5 Ma 甲烷的散失比例(%)
			1.0 Ma	2.5 Ma	4.5 Ma	
上部油层	300~400	12.82	0.63	2.74	6.97	54
下部油层	450~650	17.94	0.24	1.87	3.42	13
油层	埋深	4.5 Ma 扩散后上、下油层溶解气组分的变化				
		甲 烷	乙 烷	丙 烷		
上部油层	450 m 以浅	72.45%~83.96%	6.34%~13.37%	3.11%~9.41%		
下部油层	450 m 以深	88.25%~96.17%	1.34%~13.37%	3.11%~9.41%		

注:据参考文献[36]修编。

说第一次形成圈闭具有面积大、幅度大呈穹隆状的特征(图4)。该大圈闭的烃源岩为志留系在白垩纪初开始进入成气高峰期,天然气第一次成藏期主要是在白垩纪(图2,5),至古近纪,上石炭统气藏进一步富集扩大,在开江古隆起核部形成大面积含气的地层古构造复合型的古气藏,完成了第一次成藏作用,该古气藏总储量大于 $15\ 000 \times 10^8 \text{m}^3$ (图4)<sup>[38]</sup>。古近纪末的喜马拉雅运动四川盆地全面褶皱,川东地区形成褶皱强度大的,伴有纵逆断层的线状高陡背斜群和其间的平缓背斜,由此原开江古隆起被瓦解形成许多圈闭,这些在古隆起上第二次形成的圈闭与第一次形成的开江古隆起具有面积大呈穹隆状不同,第二次生成的圈闭面积相对小并呈线状。第二次圈闭形成致使大面积的开江古隆起圈闭和大古气藏被解体。解体后古气藏中的天然气或聚集在古气藏原地的喜马拉雅期(第二次)生成的圈闭中,或运移聚集在古气藏外围附近的喜马拉雅期(第二次)生成的圈闭中,形成第二次成藏(晚期成藏)(图4),还有部分古气藏中天然气沿开启断裂运移散失了。值得注意的是在古气藏古圈闭轴部第二次形成的圈闭在二次成藏后往往是大气田(五百梯、沙坪场、卧龙河);在古气藏范围内第二次形成的圈闭在二次成藏后形成中型气田(大池干井、双家坝、龙门)概率高,而在古气藏外的开江古隆起内第二次形成的圈闭中虽也发现中型气田(铁山、福成寨、高峰场),但其发现概率低,小型气田发现较多(图4)。

渤海湾盆地是我国活动性大的盆地之一,和中国中部稳定的四川盆地和鄂尔多斯盆地相比,多旋回性的项素数多而强度大。例如比上述两盆地增加了多期岩浆活动项素,多期断裂强度大,这些是对大气田形成破坏性大的项素,故目前实际上在该盆地未发现大气田,而鄂尔多斯盆地和四川盆地迄今已共发现了11个大气田(表1)。

### 2.3 晚期成藏的大气田与生气高峰、储集层和气源岩的层位关系

在此必须指出晚期成藏的大气田不等于储集层、气源岩都是年代晚的层位,生气高峰期也未必一定与晚期成藏同步或基本同步。晚期(喜马拉雅期)成藏的威远大气田,其储集层为震旦系,主要气源岩是下寒武统九老洞组,次要气源岩是储集层本身灯影组,生气高峰基本在中生代中晚期。五百梯大气田和沙坪场大气田也成藏于喜马拉雅期,它们的气源

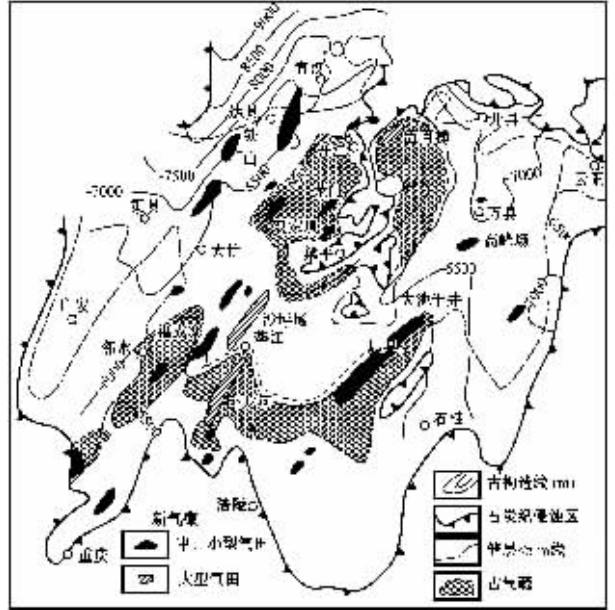


图4 川东地区褶皱前石炭系顶面开江古隆起的古构造、古气藏和新气藏图  
Fig. 4 Map of paleostructures, older gas accumulations and younger gas accumulations in the Kaijiang paleo-uplift on the top of the pre-Carboniferous in the eastern Sichuan basin before folding

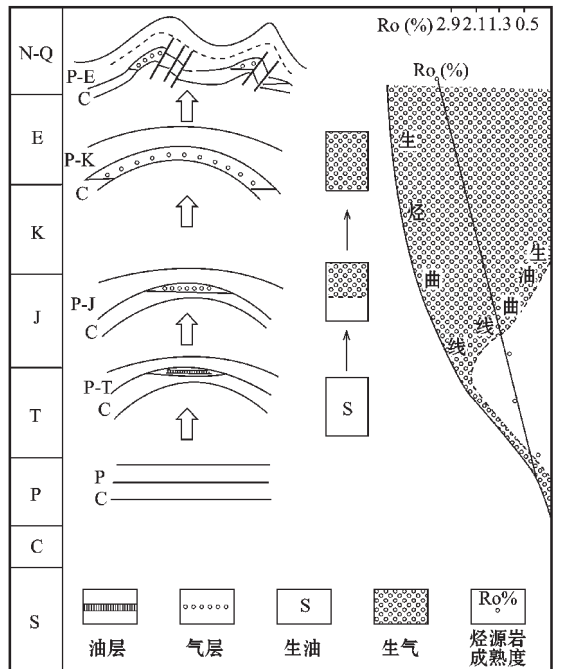


图5 四川盆地开江古隆起区圈闭和成藏多旋回性对成藏规模影响

Fig. 5 Influence of polycyclic trapping and accumulation on the accumulating scale in the Kaijiang paleo-uplift, Sichuan basin

岩为志留系,储集层为石炭系,成气高峰以白垩纪为主。柴达木盆地台南、涩北一号和涩北二号3个大气田的储集层、气源岩、成气高峰期和成藏期均在第四系(纪)(图2)。由此可见,晚期成藏的大气田的生气高峰期、储集层和气源岩既可以是相对晚的或层位相对较新,也可以比其成藏期早,层位老。

### 3 结论

大气田要求晚期成藏,是因为天然气的分子小、重量小、难被吸附而易扩散。成藏早的大气田,若无不断获得新气源,由扩散时间增长损失气量不断增加,使大气田演变为中、小型气田,甚至散失殆尽。因此,晚期成藏是大气田形成的必要条件之一。物质的扩散能力随分子量的变大呈指数关系减少。由于石油分子比天然气的大,所以在其他成藏条件与气藏相同的条件下,大油田形成既可是晚期成藏也可早期成藏。

中国盆地具有多旋回性。多旋回性往往是后续的旋回损害和降低前旋回聚集气藏的保存条件和储量,故晚期成藏就避免此弊,有利于大气田的形成。

### 参考文献(References):

[1] 张子枢.世界大气田概论[M].北京:石油工业出版社,1990.1~266.  
Zhang Zishu. Introduction of Giant Gas Fields in World. Beijing: Petroleum Industry Press, 1990.1~266(in Chinese).

[2] Tiratsoo N E. Natural Gas[M]. London:Scientific Press Ltd., 1967.20~28.

[3] 扎勃列夫 И.П.气田与凝析气田手册[M].肖守清译.乌鲁木齐:新疆人民出版社,1989.4~9.  
Zabolev I P. Manual of gas fields and condensate gas fields (translation by Xiao Shou-qing) [M]. Urumuqi: Xinjiang People's Publishing House, 1989.4~9 (in Chinese).

[4] 戴金星.近四十年来世界天然气工业发展的若干特征[J].天然气地球科学,1991,2(6):245~252.  
Dai Jinxing. Features of Global Gas Industry Development in Recent 40 Years. Geoscience of Natural Gas[J], 1991, 2(6):245~252 (in Chinese with English abstract).

[5] 戴金星,夏新宇,洪峰.天然气地质学研究促进了中国天然气储量的大幅度增长[J].新疆石油地质,2002,23(5):357~365.  
Dai Jinxing, Xia Xinyu and Hong Feng. Natural Gas Geology Accelerated the Growth of Natural Gas Reserve in Large Scale in China. Xinjiang Petroleum Geology, 2002, 23 (5):357~365 (in Chinese with English abstract).

[6] 戴金星,戚厚发,郝石生.天然气地质学概论[M].北京:石油工业出版社,1989.143~154.  
Dai Jinxing, Qi Houfa, Hao Shisheng. Introduction of Natural Gas

Geology. Beijing: Petroleum Industry Press.1989.143~154 (in Chinese).

[7] Газовая Промышленность.Прспективы Развитиясырьевой базы[J].Газовая Промышленность,2000,(1):1.

[8] Halbouty T M, Geology of Giant Petroleum Fields [M]. Talsa, Oklohome.1970.

[9] Нестеров И И, Потеряева В В и Салманов Ф К . Закономерности Распределения Крупных Месторожений Нефти и Газа в Земной Коре.Москва, Недра, 1975.

[10] 陈荣书.天然气地质学[M].武汉:中国地质大学出版社,1989.229~232.  
Chen Rougshu. Geology of Natural Gas. Wuhan: China University of Geosciences Press.1989.229~232 (in Chinese).

[11] Mann P, Gahagan L and Gordon M B. Tectonic Setting of the World's giant Oil Fields. World Oil, 2001,222(9):42~50.

[12] 李德生.大油气田地质学与中国石化油气勘探方向[A].见:李德生.中国含油气盆地构造学[C].北京:石油工业出版社,2002.186~191.  
Li Desheng. Geology of Giant Petroleum Fields and Petroleum Exploration Direction for Sinopec [A].In: Tectonics of Petroferous Basins in China[C] Beijing: Petroleum Industry Press, 2002. 177~182 (in Chinese).

[13] 徐永昌,傅家谟,郑建京.天然气成因及大中型气田形成的地质基础[M].北京:科学出版社,2000.36~108.  
Xu Yongchang, Fu Jiamo, Zheng Jianjing. Geological Setting of Natural Gas Origin and Formation of Large and Middle Gas Fields [M], Beijing:Science Press, 2000. 36~108(in Chinese).

[14] 戚厚发,孔志平,戴金星,等.我国较大气田形成及富集条件分析[A].见:石宝珩主编.天然气地质研究[C].北京:石油工业出版社,1992.8~14.  
Qi Houfa, Kong Zhiping, Dai Jinxing. A Study of Formation and Enrichment Conditions of Large Gas Fields in China [A], In:Shi Baoheng ed. Research of Natural Gas Geology [C]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1992.73~81(in Chinese).

[15] 邓鸣放,陈伟煌.崖13-1大气田形成的地质条件[A].见:石宝珩,天然气地质研究[C].北京:石油工业出版社,1992.73~81.  
Deng Mingfang, Chen Weihuang. Geological Conditions of Formation of Large Ya 13-1 Gas Fields[A].In: Shi Baoheng ed. Research of Natural Gas Geology [C]. Beijing:Petroleum Industry Press, 1992.73~81 (in Chinese).

[16] 戴金星.中国大中型气田有利勘探区带[J].勘探家.1996,(1):6~9.  
Dai Jinxing. Exploration Plays in Large and Middle Fields in China. Petroleum Explorationist. 1996,(1):6~9 (in Chinese).

[17] 戴金星,宋岩,张厚福.中国大中型气田形成的主要控制因素[J].中国科学(D辑).1996,26(6):481~487.  
Dai Jinxing, Song Yan, Zhang Houfu. Main Factors Controlling the Foundation of Medium-Giant Gas Fields in China[J]. Science in China(Series D),1997,40(1):1~10.

[18] 戴金星,王庭斌,宋岩,等.中国大中型天然气田形成条件与分布规律[M].北京:地质出版社,1997.184~198.  
Dai Jinxing, Wang Tingbin, Song Yan, et al. Formation and Distribution of Medium-Large-Sized Gas Fields in China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1997. 184~198(in Chinese).

[19] 王涛.中国天然气地质理论与实践[M].北京:石油工业出版社,1997.263~275.



- Wang Tao. Natural Gas Geological Theory and Practice of China [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997. 263~275.
- [20] 王庭斌. 中国大中型气田的勘察方向[A]. 见: 王庭斌主编. 石油与天然气地质文集(第7集)[C]. 北京: 地质出版社, 1997. 1~33.
- Wang Tingbin. Direction of Large/Medium-Gas field Exploration in China[A]. In: Wang Tingbin ed. Natural Gas Geology and Exploration-Developmant Techniqua Volume 7 [C]. Beijing: Geological Publishing House, 1997. 1~33 (in Chinese).
- [21] 戴金星, 夏新宇, 洪峰, 等. 中国煤成大中型气田形成的主要控制因素[J]. 科学通报, 1999, 44(22): 2455~2464.
- Dai Jinxing, Xia Xinyu, Hong Feng, et al. An Initial Discussion on Major Controlling Factors on Formation of Coal-Formed Large-Medium Gas Fields[J]. Chinese Science Bulletin. 2000, 45(5): 394~404.
- [22] 王庭斌. 中国天然气的基本特征及勘探方向[A]. 见: 杨朴主编, 中国新星石油文集[C]. 北京: 地质出版社, 1999, 194~205.
- Wang Tingbin. Natural Gas Resources in China: Geological Characteristics and Exploration Direction [A]. In: Yang Pu ed. Selected Papers of China National Star Petroleum Corporation [C] Beijing: Geological Publishing House, 1999. 194~205 (in Chinese).
- [23] 康竹林, 傅诚德, 崔淑芬, 等. 中国大中型气田概论[M]. 北京: 石油工业出版社, 2000. 320~328.
- Kang Zhulin, Fu Chengde, Cui Shufen, et al. Introduction of Large and Middle Gas Fields in China, Beijing: Petroleum Industry Press, 2000. 320~328 (in Chinese).
- [24] 赵林, 洪峰, 戴金星, 等. 西北侏罗系煤成大中型气田形成主要控制因素及有利勘探方向[A]. 见: 宋岩等主编, 天然气地质研究及应用[C]. 北京: 石油工业出版社, 2000. 211~218.
- Zhao Lin, Hong Feng, Dai Jinxing, et al. Formation and controlling factors of large and middle gas fields of coal gas and favourable exploration direction for Jurassic Basins in Northwest China[A]. In: Sun Yan ed. Research of Natural Gas and Its Application [C]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2000. 211~218 (in Chinese).
- [25] 戴金星, 钟宁宁, 刘德汉, 等. 中国煤成大中型气田地质基础和主控因素[M]. 北京: 石油工业出版社, 2000. 210~223.
- Dai Jinxing, Zhong Ningning, Liu Dehan, et al. Geological Setting and Major Factors of Large and Middle Gas Fields of coal Gas in China [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2000. 210~223 (in Chinese).
- [26] 蒋炳南, 康玉柱. 新疆塔里木盆地油气分布规律及勘探靶区评价研究[M]. 乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社, 2001. 147~156.
- Jiang Bingnan and Kang Yuzhu. Hydrocarbon Distribution Pattern and Target Area Evaluation in Tarim Basin, Xinjiang[M]. Ürümqi: Xinjiang Science Technology and Hygiene Publishing House, 2001. 147~156 (in Chinese).
- [27] 李剑. 中国重点含气盆地气源特征与资源丰度[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2000. 113~137.
- Li Jian. Sources and Abundance of Key Gas-Bearing Basins in China[M]. Xuzhou: Publishing House of China University of Mining and Technology, 2000. 113~137 (in Chinese).
- [28] 李剑, 胡国艺, 谢增业, 等. 中国大中型气田天然气成藏物理化学模拟研究[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001. 20~36.
- Li Jian, Hu Gaoyi, Xie Zhengye, et al. Physiochemical Modelling of Gas-pool Formation for Large and Middle Gas Fields in China [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001. 20~36 (in Chinese).
- [29] 韩克猷. 川东开江古隆起石炭系大中型气田的形成及勘探目标[J]. 天然气工业, 1995, 15(4): 1~5.
- Han Keyou. Forming of Large-Middle-Scale Gas Fields at Kaijiang Palaeohigh in East Sichuan and Exploration Target[J]. Natural Gas Industry, 1995. 15(4): 1~5 (in Chinese).
- [30] 李景明, 魏国齐, 曾宪斌, 等. 中国大中型气田富集区带[M]. 北京: 地质出版社, 2002. 1~20.
- Li Jingming, Wei Guoqi, Zeng Xianbin, et al. Enrichment Zones of Middle and Large Gas Fields in China [M]. Beijing: Geological Publishing House. 2002. 1~20 (in Chinese).
- [31] 夏新宇, 秦胜飞, 卫延召, 等. 煤成气研究促进中国天然气储量迅速增加[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(2): 17~19.
- Xia Xinyu, Qin Shengfei, Wei Yanzhao, et al. The research of coal-formed gas accelerating the increase of natural gas reserves in China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2002. 29(2): 17~19 (in Chinese with English abstract).
- [32] 傅诚德. 天然气科学研究促进了中国天然气工业的起飞[A]. 戴金星主编. 天然气地质研究新进展[C]. 北京: 石油工业出版社, 1997. 1~11.
- Fu Chengde. Fast Development of Chinese Gas Industry Enhanced by Scientific Research[A]. In: Dai Jinxing ed. Advances of Natural Gas Geology[C]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997. 1~11 (in Chinese).
- [33] 李明诚. 石油与天然气运移(第二版)[M]. 北京: 石油工业出版社. 1994. 27~31.
- Li Mingcheng. Oil and Gas Migration (Second Version). Beijing: Petroleum Industry Press. 1994. 27~31 (in Chinese).
- [34] 陈锦石, 陈文正. 碳同位素地质学概论[M]. 北京: 地质出版社, 1983. 128~129.
- Chen Jinshi and Chen Wenzheng. Introduction of Geology of Carbon Isotope[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1983. 128~129 (in Chinese).
- [35] 李海燕, 付广, 彭仕宓. 气藏天然气扩散散量的定量研究[J]. 大庆石油地质与勘探, 2001, 20(6): 25~27.
- Li Haiyan, Fu Guang, Peng Shimi. Quantitative study on the loss of natural gas diffusion in gas reservoirs. Petroleum Geology and Oilfield Development in Daqing, 2001, 20(6): 25~27 (in Chinese).
- [36] 陈义才, 沈忠民, 李延均, 等. 大宛齐油田溶解气扩散特征及其扩散量的计算[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(2): 58~60.
- Chen Yicai, Shen Zhongmin and Li Yanjun, et al. Simulation of diffusion quantity of solution gas in Dawaqi Oil Field[J]. Petroleum Exploration and Developmant. 2002, 29(2): 58~60 (in Chinese with English abstract).
- [37] 戴金星, 秦胜飞, 夏新宇. 中国西部煤成气资源及大气田[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2002, 21(1): 12~21.
- Dai Jinxing, Qin Shengfei and Xia Xinyu. Coal-Formed

natural gas resource and large gas fields in the west part of China [J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*. 2002, 21 (1):12~21 (in Chinese with English abstract).

[38] 李振铎,胡义军,谭芳.鄂尔多斯盆地上古生界深盆气研究[J].天然气工业,1998,18(3):10~16.

Li Zhenduo, Hu Yijun and Tan Fang. A Study on the deep basin gas in the Upper Paleozoic in Eerduosi [J]. *Natural Gas Industry*, 1998,18(3):10~16 (in Chinese).

## Important role of the formation of gas accumulations in the late stage in the formation of large gas fields

DAI Jin-xing<sup>1</sup>, WEI Yan-zao<sup>1</sup>, ZHAO Jing-zhou<sup>1,2</sup>

(1.RIPED, PetroChina, Beijing 100083, China; 2.Xi'an College of Petroleum, Xi'an 710065, China)

**Abstract:** By the end of 2001, 21 large gas fields had been discovered in China, and their cumulative explored reserves of gas in place reached  $17\,953 \times 10^8 \text{ m}^3$ , taking up 59.80% of China's total gas reserves. Gas molecules are small, hard to be adsorbed and ready to diffuse. Large early-formed gas fields will lose their quantity and become small or medium-sized ones or even be depleted completely owing to long-continued gas diffusion, if no gas source replenishes the supply. Therefore, the formation of gas accumulations in the late stage is one of the fundamental conditions for the formation of large gas fields. Basins in China are polycyclic in nature. The tectonic cycle of succeeding basin usually reduces or damages the reserves and preservation conditions of gas accumulations in the preceding basins. So, the formation of gas accumulations in the late stage can avoid this defect and is favorable for the formation of large gas fields. The period of peak gas generation of large gas fields resulting from late-stage accumulation is synchronous or nearly synchronous with the period of accumulation, and their source and reservoir rocks are younger. Sometimes, the peak generation period is earlier than the period of accumulation and their source and reservoir rocks are older.

**Key words:** accumulation; gas field; late stage; China