

文章编号: 1006-6616 (2011) 02-0121-11

# 近年来我国发现大气田的 地质特征和存在问题

李会军 周新桂 张林炎

(中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081)

**摘要:** 2001 年以来我国天然气勘探事业发展迅速, 探明储量快速增长, 大气田发现速度加快。大气田主要分布在六大气区: 鄂尔多斯气区、四川气区、塔里木气区、柴达木气区、松辽气区、珠江口气区。总结了大气田烃源岩、储层和圈闭方面的特点, 即: 中国天然气勘探指导理论已进入“多元论”时代, 有机气以煤成气为主, 烃源岩热演化各阶段皆可形成大气田; 大气田在碎屑岩储层、碳酸盐岩储层和火山岩储层均有分布, 以碎屑岩储层为主, 碳酸盐岩储层次之; 圈闭类型以构造-岩性复合型为主, 少量为构造圈闭。分析了大气田烃源岩、储层、成藏方面存在的问题, 认为这些问题的解决将极大地有利于天然气勘探的进一步开展。

**关键词:** 储层; 烃源岩; 多元成气论; 多阶段生气说; 构造-岩性复合型圈闭

中图分类号: P618.13

文献标识码: A

## 0 前言

21 世纪是天然气世纪, 这是国内外能源专家的普遍共识。与煤、石油等其它矿物能源相比, 天然气具有热值高、利用效率高、污染小的特点, 既是一种优质高效的能源, 又是重要的有机化工原料。据国际权威机构预测, 天然气是 21 世纪消费量增长最快的能源, 石油和煤炭消费领域里有 70% 以上可以用天然气取代, 天然气将是 21 世纪的能源主角, 加快天然气工业的发展将成为不可扭转的趋势<sup>[1]</sup>。

发现与开发大气田是快速发展天然气工业的一条重要途径。大气田的形成条件及分布规律在以往的研究中作了很多总结<sup>[1-15]</sup>, 近年来大气田的发现呈增长趋势, 前陆盆地、克拉通盆地大面积岩性以及东部断陷盆地深层火山岩等领域天然气勘探取得了重大进展, 有必要在前人的基础上对大气田的地质特点进行系统总结, 以促进对大气田的勘探。

各国对气田储量规模的分类标准不一, 根据 20 世纪 80 年代制定的《中华人民共和国天然气储量规范》, 探明地质储量大于  $300 \times 10^8 \text{ m}^3$  为大气田。本文概略分析 2001 年以来发现大气田的地质特点, 希望对今后的勘探有所启示。

收稿日期: 2011-03-10

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费 (DZLXJK200802) 资助。

作者简介: 李会军 (1971-), 男, 副研究员, 主要从事油气地质学方面的科研工作。

# 1 近年来我国发现的大气田概述

我国在 1996 年之前,只有 1992 年发现的大气田储量在  $1000 \times 10^8 \text{ m}^3$  之上,每年最多发现 2 个大气田,1989 年之前更是几年才发现一个大气田,且每个大气田的储量均在  $500 \times 10^8 \text{ m}^3$  之下。自“九五”至今每年均发现大气田,2004 年发现大气田最多,达 6 个,2007 年发现 5 个大气田,新增探明地质储量  $6178 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,这是我国年天然气探明地质储量第一次突破  $6000 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,说明我国天然气勘探正处在快速发展时期。

按盆地统计,大气田分布在鄂尔多斯、四川、柴达木、塔里木、松辽、珠江口 6 个盆地,其中四川盆地大气田最多,有 8 个,鄂尔多斯盆地次之,有 5 个,柴达木盆地、塔里木盆地各 3 个,松辽盆地、珠江口盆地各 1 个(表 1)。

按深度统计(表 1),浅层( $< 2000 \text{ m}$ )、中深层( $2000 \sim 3200 \text{ m}$ )、深层( $> 3200 \text{ m} \sim 4000 \text{ m}$ )、超深层( $> 4000 \text{ m}$ )均有大气田分布,但以中深层、深层为主,超深层也有较多大气田发育。

由于大气田的大量快速发现,刷新了中国大气田的多项纪录:

(1) 松辽盆地徐深气田是世界上最大的深层火山岩气田,也是我国东部陆上发现的最大气田,开辟了我国陆上“第五大气区”。

(2) 鄂尔多斯盆地苏里格气田为中国目前最大的气田,是陆相中深层大面积岩性气田的典范。

(3) 鄂尔多斯盆地靖边气田是我国首次在陆上海相碳酸盐岩地层中探明的非常规隐蔽性大型岩溶古地貌气田,它的发现突破了以往在构造发育区找气的勘探思路,拓宽了稳定台山区找气的地质认识。

(4) 塔里木盆地迪那 2 气田是中国目前发现的最大凝析气田,是超深层碎屑岩气田的代表。

(5) 四川盆地普光气田是四川盆地发现的最大气田,也是我国海相碳酸盐岩层系最大的气田,还是四川盆地埋藏深度最大、资源丰度最高、储层性质最好、优质储层最厚、天然气中硫化氢含量最高、天然气干燥系数最大的整装气田。

(6) 塔里木盆地塔中 I 号油气田为我国第一个奥陶系礁滩相亿吨级油气田,是世界含油气盆地发现的最大生物礁储集体,入选 2005 年全球重大油气勘探新发现。

(7) 四川盆地洛带气田紧邻成都市三环路,是我国迄今为止发现的唯一紧邻大都市的气田。

(8) 塔里木盆地大北 3 气田大北 3 井 7058 ~ 7090.88m 日产天然气  $41108 \text{ m}^3$ ,突破了气田储层埋深 7000m 的界限<sup>①</sup>。

## 2 近年来我国发现大气田地质特点

### 2.1 烃源岩特点

#### 2.1.1 中国天然气勘探指导理论进入“多元论”时代

20 世纪 80 年代末之前,中国天然气勘探的指导理论是“一元论”的油型气理论<sup>[16]</sup>,

① 中国地质学会,2008. 2007 年度中国地质科技新进展和地质找矿新成果资料汇编

表 1 近年来中国发现大气田特征表

Table 1 Features of large gas fields found recently in China

盆地	气田名称	圈闭类型	烃源岩	含气层位	产层埋深 (m)	储层岩性	成因类型	地质储量 (10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> )
四川盆地	罗家寨	构造-岩性	下志留统龙马溪组, 上二叠统龙潭组	下三叠统飞仙关组	3215 ~ 4570	云岩、鲕粒灰岩	油型气	797.36
	磨溪	岩性-构造	上二叠统龙潭组	下三叠统嘉陵江组二段	3101 ~ 3251 (中部)	白云岩、颗粒灰岩	煤成气	702.31
	铁山坡	构造-岩性	下志留统龙马溪组, 上二叠统龙潭组	下三叠统飞仙关组	3378 ~ 4092	灰岩、白云岩	油型气	373.97
	普光	构造-岩性	上二叠统龙潭组,下 志留统龙马溪组	下三叠统飞仙关组,上二 叠统长兴组	5104.5(中部)	白云岩	煤成气,原油裂 解气	3560.72
	新场	构造-岩性	上三叠统须家河组	侏罗系蓬莱镇组、沙溪庙 组、千佛崖组	500 ~ 2700	砂岩、粗粉砂岩、砾 岩	煤成气	794.6
	洛带	构造-岩性	上三叠统须家河组	侏罗系蓬莱镇组、遂宁组	470 ~ 1600	细砂岩	煤成气	380
	八角场	构造-岩性	下侏罗统大安寨组, 上三叠统香溪群	下侏罗统大安寨组,上三 叠统香溪群香四段	2500 ~ 3200	灰岩、砂岩	煤成气	351.36
	广安	岩性	上三叠统须家河组	上三叠统须家河组	2200 ~ 2500	砂岩	煤成气	784.10
鄂尔多斯盆地	苏里格	岩性	石炭-二叠纪煤系	下二叠统下石盒子组盒 8 段、山西组山 1 段	3200 ~ 3410	石英砂岩	煤成气	5336.52
	榆林	岩性	石炭-二叠纪煤系	下二叠统山西组山 2 段	2650 ~ 3100	石英砂岩	煤成气	1945.60
	子洲	岩性	石炭-二叠纪煤系	下二叠统山西组山 2 段	2430(平均)	石英砂岩	煤成气	1151.97
	靖边	古地貌-岩 性	石炭-二叠纪煤系	奥陶系马家沟组五段,下 二叠统下石盒子组盒 8 段、山西组山 1 段	3150 ~ 3765	白云岩、石英砂岩	煤成气,油型气	4666.35
	大牛地	岩性	石炭-二叠纪煤系	上石炭统太原组,下二叠 统山西组、下石盒子组	2540 ~ 2970	砂岩、砂砾岩	煤成气	3076.87
柴达木盆地	台南	背斜	第四系	第四系下更新统涩北组	835 ~ 1752	细砂岩、含泥粉砂 岩、泥质粉砂岩和 鲕粒砂岩	煤成气	951.62
	涩北一号	背斜	第四系	第四系下更新统涩北组	433.0 ~ 1599.0	粉砂岩、泥质粉砂 岩和少量的细砂岩	煤成气	990.61
	涩北二号	背斜	第四系	第四系下更新统涩北组	433.0 ~ 1599.0	粉砂岩、泥质粉砂 岩和少量的细砂岩	煤成气	826.33
塔里木盆地	迪那 2	背斜	三叠-侏罗纪煤系	古近系苏维依组,库姆格 列木群	4750 ~ 5150	粉砂岩、细砂岩	煤成气	1752.18
	塔中 1 号	岩性	寒武系一下奥陶统, 上奥陶统	上奥陶统良里塔格组	4520 ~ 5640 (中部)	礁滩相骨架礁灰 岩、颗粒灰岩和灰 泥丘藻粘粘岩类	油型气	366.25
	塔河	地层-岩性	寒武系一下奥陶统	奥陶系、下石炭统、三叠系	5400 ~ 6900	灰岩、砂岩、白云岩	油型气	590
松辽盆地	徐深	岩性	下白垩统,地幔	下白垩统营城组	3382.4 ~ 3754.6	火山岩、砂砾岩	煤成气,无机气	1018.68
珠江口	番禺 30-1	背斜	古近系恩平组	新近系珠江组	1648 ~ 2755.8	石英砂岩	煤成气	307.86

认为天然气均由腐泥型的有机质形成, 只把腐泥型地层作为气源岩, 只勘探与其有关的天然气; 20 世纪 80 年代末, 确定腐殖型煤系是良好的气源岩, 煤系和与之相关层系是天然气勘探的主要目标的煤成气理论在我国出现, 使我国天然气勘探的指导理论从油型气的“一元论”发展为油型气和煤成气理论的“两元论”。近年来, 继首先确定了世界上第一个有充分地球化学依据的无机成因烃类气田—松辽盆地昌德气藏之后, 又陆续在松辽盆地徐家围子断陷发现了几个无机成因烃类气藏, 使天然气勘探的指导理论真正进入油型气、煤成气和无机气的“多元论”时期。

### 2.1.2 有机气以煤成气为主

按照母质类型, 有机气可分为油型气和煤成气两大类。煤成气在我国大气田探明储量中所占比例逐年增高, 20 世纪 80 年代以前煤成气在天然气总探明储量中所占比例一般小于 10%, 20 世纪 80 年代以后煤成气比例快速增大, 至 2001 年所占比例达到了 60% 以上, 2005 年达到 70%, 成为天然气中的主要类型<sup>[17]</sup>。煤系烃源岩主要分布在 C-P、T-J、K、E、N-Q; 地区上主要分布在鄂尔多斯盆地 (C-P)、四川盆地 (T-J)、塔里木盆地 (T-J)、松辽盆地 (K)、东南近海海域 (E) 及柴达木盆地 (N-Q)。目前发现的油型气大气田主要分布在塔里木盆地 ( $\epsilon$ -O)、四川盆地 (S, P<sub>1</sub> 海相), 鄂尔多斯盆地 (C, O) 油型气对大气田形成有少量贡献。

### 2.1.3 烃源岩热演化各阶段皆可形成大气田

大气田的天然气可以形成于不同的热演化阶段, 既有未熟阶段的生物成因气 (如柴达木盆地涩北一号、涩北二号等), 又有成熟阶段的热解气 (如塔里木盆地迪那 2 等) 和过熟阶段的裂解气 (如铁山坡、罗家寨等以志留系生成的原油裂解气为主, 并混有龙潭组烃源岩生成的天然气, 普光气田主要捕获了龙潭组烃源岩生成的天然气, 混有志留系生成的原油裂解气)<sup>[18]</sup>。

## 2.2 储层特点

近年来发现的大气田储层类型有 3 大类: 碎屑岩储层、碳酸盐岩储层和火山岩储层, 其中碎屑岩储层占主导地位, 各大气区均有分布, 碳酸盐岩储层次之, 分布在鄂尔多斯盆地、塔里木盆地和四川盆地, 火山岩储层只分布在松辽盆地。

储层不仅控制气藏的富集程度, 还能控制气藏的发育与否, 如塔河油气田, 储层发育则含油或形成油气藏, 储层不发育则不含油, 因此在同一残丘圈闭上高产稳产井与干井交叉分布, 高产稳产井与非稳产井同时并存, 油气分布不受残丘构造的控制, 也不受层位的控制, 而与储层的发育程度密切相关<sup>[19]</sup>。

### 2.2.1 碎屑岩储层

大气田碎屑岩储层可由泥质粉砂岩—砾岩各粒级碎屑构成, 泥质粉砂岩是柴达木盆地大气田最为发育的储集岩, 平均孔隙度 25%~30%, 平均渗透率  $(10 \sim 100) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ <sup>[20]</sup>。

粉砂岩不仅在浅层可以构成储层, 超深层也可以形成有效储层, 如迪那 2 气田储层以粉砂岩、细砂岩为主, 平均孔隙度 4%~10%, 平均渗透率  $(0.1 \sim 1.5) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ <sup>[21]</sup>。

徐深气田砾岩储层储集物性不同于砂岩储层, 砂岩储层随埋深增加, 物性迅速变差, 一般埋深大于 2900m, 孔隙度低于 5.5%, 基本达到物性下限。砾岩储层随埋深增加物性变化不大, 一般填隙物 (砂质为主) 含量越高, 储层物性越好<sup>[22]</sup>。

大气田碎屑岩储层物性自特低孔特低渗—特高孔特高渗皆有分布, 柴达木盆地生物气储层细砂岩、鲕粒砂岩和粗粉砂岩的平均孔隙度为 30%~35%, 平均渗透率为  $(300 \sim 1000)$

$\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 细粉砂岩和含泥粉砂岩的平均孔隙度在 30% 左右, 平均渗透率为  $(100 \sim 500) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ <sup>[20]</sup>, 而洛带气田主力产层遂宁组曾经长期作为区域盖层和隔层, 孔隙度平均为 4.74%, 基质渗透率平均为  $0.42 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ <sup>[23]</sup>。

### 2.2.2 碳酸盐岩储层

碳酸盐岩储层按成因分为潜山型和内幕型两大类, 潜山型储层以风化壳溶蚀作用成因为主, 内幕型则以沉积、白云石化作用、埋藏溶蚀等成因为主。前者主要分布在鄂尔多斯盆地奥陶系、塔里木盆地奥陶系, 后者主要分布在四川盆地三叠统、上二叠统和塔里木盆地奥陶系。

碳酸盐岩储层与沉积相带关系密切, 按主要储层的相带分布可分为三种类型: 潮上一潮间型、台地型、台地边缘型。潮上一潮间型储层主要发育在潮上一潮间带, 潮间发育云坪、潮上发育含膏云坪, 云岩中的石膏和硬石膏结核、盐晶等在岩溶作用下形成了大量的模孔和溶缝, 储集空间发育, 利于天然气的聚集, 如靖边气田奥陶系; 台地型储层主要发育在开阔台地相, 岩性主要为纯净灰岩, 这类岩石基质基本不具储渗能力, 主要储集空间以构造变形产生的构造裂缝与岩溶作用形成的孔、洞、缝为主, 优质储层主要受断裂和岩溶作用强度控制, 如塔河油气田奥陶系; 台地边缘型储层主要发育在台地边缘相, 发育颗粒灰岩、礁灰岩等, 物性较好, 如塔中 I 号和普光气田。普光气田的主要产层为下三叠统飞仙关组、上二叠统长兴组, 其中糖状残余鲕粒白云岩储集性能最好, 次为含砾屑鲕粒白云岩、残余鲕粒白云岩等, 灰岩储集条件较差。

### 2.2.3 火山岩储层

火山岩储层仅分布在松辽盆地徐深气田, 埋深 2600 ~ 4800m, 有利储层主要分布于 4 个亚相: ①喷溢相的上部亚相, 岩性以气孔流纹岩为主; ②爆发相的热碎屑流亚相, 岩性以含晶屑、浆屑、岩屑的熔结凝灰岩为主; ③爆发相空落亚相, 为含火山弹和浮石块的集块岩、角砾岩和晶屑凝灰岩; ④火山通道相隐爆角砾岩亚相<sup>[22]</sup>。和砾岩储层类似, 火山岩储层随埋深增加物性变化不大, 埋深超过 4000m 仍有孔隙度大于 10% 的储层, 工业气流井的深度已达到 4500m, 为天然气勘探向深部探索创造了条件<sup>[22]</sup>。

## 2.3 圈闭特点

2001 年以来发现的大气田圈闭以构造 - 岩性复合型为主, 只有迪那 2 和柴达木盆地的三个大气田受构造单一因素控制。构造 - 岩性气田具有分布面积大, 含气层位多的特点, 其储量规模通常较构造气田大, 以鄂尔多斯盆地最为明显, 5 个气田的天然气探明储量达到了  $1.6 \times 10^{12} \text{m}^3$ <sup>[17]</sup>。

### 2.3.1 鄂尔多斯盆地

鄂尔多斯盆地各大气田均为岩性地层气藏, 如苏里格气田构造形态总体为一宽缓的西倾单斜, 其上发育多排低缓的鼻隆构造, 鼻隆幅度只有 10 ~ 20m, 勘探开发实践证明鼻隆幅度对天然气聚集不起作用, 砂体的横向展布以及储集物性严格控制着气藏的分布。

### 2.3.2 四川盆地

普光气田西侧受北东向逆冲断层控制, 北侧与东侧受构造线控制, 南部受相变带控制, 是一受鼻状构造与相变线共同控制的构造 - 岩性复合型圈闭<sup>[24]</sup>。普光气田构造高部位曾打过川岳 83、84 井, 没有获得工业油气流, 普光气田位于相对低部位, 却获得高产气流, 主要是沉积相的差异造成的。

### 2.3.3 塔里木盆地

#### (1) 塔河油气田

塔河油气田油气藏高度不受残丘圈闭的控制, 奥陶系残丘圈闭幅度很小, 一般 20 ~ 50m, 个别 90 ~ 100m, 但油气藏高度远大于残丘圈闭幅度, 可达 200 ~ 300m。如塔河油田王牌井 S48 井所在的残丘圈闭幅度仅为 55m, 但油气藏高度却达 255m。含油气范围也不受残丘圈闭的控制, 残丘圈闭面积很小, 一般仅为几平方千米, 而油气藏面积远大于残丘圈闭面积<sup>[19]</sup>。

#### (2) 塔中 I 号气田

塔中 I 号气田无构造圈闭, 礁滩复合体普遍含油, 同一油气藏顶面高差达 1000m 以上, 为受储层控制的岩性油气藏。塔中 I 号礁滩体往南相变为棚内缓坡、棚内洼地等微相的泥质灰岩和泥晶灰岩, 向北相变为斜坡一盆地相的泥岩, 之上沉积了上奥陶统桑塔木组巨厚陆棚泥岩, 形成巨型的岩性圈闭<sup>[25]</sup>。

### 2.3.4 松辽盆地

徐深气田砾岩气藏基本为岩性气藏, 营城组四段砾岩获得工业气流井均无明显构造圈闭; 火山岩气藏构造对气水分布具有一定的控制作用, 但含气高度一般大于构造圈闭幅度, 为岩性气藏或构造—岩性气藏。

## 3 存在问题

总的来说大气田研究程度较高, 但仍有一些关键问题存在争议或者没有得到解决, 影响了勘探的深入, 包括 (但不限于) 以下所述:

### 3.1 烃源岩

#### 3.1.1 部分大气田的气源仍不清楚

(1) 靖边气田气源是来自上古生界煤成气和石炭系海相油型气<sup>[26]</sup>, 上古生界石炭系、二叠系煤系和下古生界海相碳酸盐岩<sup>[27]</sup>, 还是中奥陶统平凉组页岩<sup>[28]</sup>。

(2) 铁山坡、罗家寨气田究竟是油型气<sup>[17]</sup>还是煤成气<sup>[29]</sup>, 气源为上二叠统龙潭组煤系<sup>[29]</sup>还是以志留系生成的原油裂解气为主、混有龙潭组生成的天然气<sup>[18]</sup>。

(3) 塔中天然气主要是来源于寒武系—下奥陶统烃源岩、有少量上奥陶统烃源岩生成的天然气补充<sup>[30]</sup>, 还是塔中东部主要聚集了高—过成熟的寒武系生成的天然气、塔中西部主要聚集了中等成熟的中—上奥陶统生成的天然气<sup>[31]</sup>。

#### 3.1.2 生物气源岩的评价标准

已有研究表明生物气形成并不受有机质类型、数量的控制, 因此生物气源岩的评价不能沿用传统的评价方法, 但是究竟什么是控制生物气的主要因素, 如何评价生物气源岩, 还缺乏一套有效而适用的指标。柴达木盆地自 1957 年发现生物气以来已历经半个世纪, 但气源究竟以高碳泥岩为主还是以低碳泥岩为主, 到目前仍然不清楚, 大大限制了生物气的进一步勘探和拓展, 更难以以为同类地区开展相关性研究提供参考。

#### 3.1.3 无机成因烃类气资源前景

目前已在松辽盆地发现无机成因烃类气田, 但无机成因烃类气资源前景如何, 其他地区是否无机成因烃类气田分布及如何开展无机成因烃类气勘查十分不清楚。

### 3.2 储层

#### 3.2.1 海相碳酸盐岩微相

普光气田中的开江—梁平海槽, 马永生<sup>[24]</sup>认为是碳酸盐台地中水体相对较深的台棚环境, 魏国齐等<sup>[32]</sup>、王一刚等<sup>[33]</sup>认为仍属海槽。

川东北飞仙关组鲕粒白云岩以混合水白云石化作用为主是主流观点, 但罗平等<sup>[34]</sup>却认为鲕粒白云石化流体没有淡水注入。

塔中 I 号气田储层是形成于高能台地边缘的礁滩复合体, 还是一套与沉积间断面对应的、形成于低能环境的泥晶棘屑灰岩<sup>[35]</sup>。

#### 3.2.2 深埋优质储层的形成和保存机制

近年的深层勘探成果表明深层可以发育优质储层, 如普光气田飞仙关组在白垩纪末期埋深可达 8000m<sup>[36]</sup>, 现埋深在 5000m 以上, 但鲕粒白云岩孔隙度最大可达 27.9%, 最大渗透率可达  $1000 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  以上, 其形成和保存机制及其分布的控制因素尚未完全查明。

#### 3.2.3 低效气田中相对高渗储层的展布规律和预测方法

低效气田只有找到相对高渗储层才有经济效益, 但由于相对高效储层常常只集中在沉积砂体的某一部位, 甚至只是其中一小部分, 并不是整个沉积砂体, 对相对高效储层的预测和展布规律的研究将有别于常规砂体, 成为地质工作 21 世纪所面临的迫切问题。

### 3.3 成藏

#### 3.3.1 成藏期认识不一, 主力成藏期不清

历经多期次的构造运动是中国含油气盆地的主要特点, 每一期构造运动对气藏的形成都起到了重要的作用, 多源、多期成藏是我国含油气盆地成藏的一个重要特点。如塔中存在多期油气运聚, 包括晚加里东期油气的聚集、晚海西期古油藏油气的调整转移和直接从烃源岩生成油气的补充以及喜马拉雅期古油藏裂解天然气对早期油藏的气侵, 但如何准确定量评价多来源、多期次油气对成藏的贡献还应继续努力。

#### 3.3.2 烃源岩高—过成熟地区天然气勘探方法

我国海相烃源岩目前普遍处于高—过成熟阶段, 近年提出“有机质接力成气”的新认识, 认为高—过成熟阶段烃源岩仍具有较好的生气潜力、分散可溶有机质是高—过成熟阶段最主要的气源、海相烃源岩具有广阔的勘探前景, 但在一些久攻不克的地区(比如南方碳酸盐岩)如何具体指导勘探仍是一个难题。

## 参 考 文 献

- [1] 魏永佩. 中国天然气田的时空分布 [J]. 天然气工业, 2001, 21 (5): 1~7.  
Wei Yong-pei. Space-time distribution of gas fields in China [J]. Natural Gas Industry, 2001, 21 (5): 1~7.
- [2] 李景明, 刘圣志, 李东旭, 等. 中国天然气勘探形势及发展趋势 [J]. 天然气工业, 2004, 24 (12): 1~4.  
Li Jing-ming, Liu Sheng-zhi, Li Dong-xu, et al. Exploratory situation and development tendency of China's natural gas [J]. Natural Gas Industry, 2004, 24 (12): 1~4.
- [3] 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 Jin-xing, Xia Xin-yu, Hong Feng, et al. An initial discussion on major controlling factors on formation of coal-formed large-medium gas fields [J]. Chinese Science Bulletin, 1999, 44 (22): 2455~2464.
- [4] 赵文智, 汪泽成, 王兆云, 等. 中国高效天然气藏形成的基础理论研究进展与意义 [J]. 地学前缘, 2005, 12 (4): 499~506.

- Zhao Wen-zhi, Wang Ze-cheng, Wang Zhao-yun, et al. Progresses and significances of research on high-efficiency gas reservoir formation in China [J]. *Earth Science Frontiers*, 2005, 12 (4): 499 ~ 506.
- [5] 赵文智, 汪泽成, 王红军, 等. 近年来我国发现大中型气田的地质特点与 21 世纪初天然气勘探前景 [J]. *天然气地球科学*, 2005, 16 (6): 687 ~ 692.
- Zhao Wen-zhi, Wang Ze-cheng, Wang Hong-jun, et al. Geological characteristic of large-mid scale gas fields discovered recently in China and natural gas prospecting in the early 21st century [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2005, 16 (6): 687 ~ 692.
- [6] 邹才能, 陶士振, 谷志东. 中国低丰度大型岩性油气田形成条件和分布规律 [J]. *地质学报*, 2006, 80 (11): 1739 ~ 1751.
- Zou Cai-neng, Tao Shi-zhen, Gu Zhi-dong. Formation conditions and distribution rules of large lithologic oil-gas fields with low abundance in China [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2006, 80 (11): 1739 ~ 1751.
- [7] 刘春晓, 钱利, 邓国振. 塔中地区油气成藏主控因素及成藏规律研究 [J]. *地质力学学报*, 2007, 13 (4): 355 ~ 367.
- LIU Chun-xiao, QIAN Li, DENG Guo-zhen. Dominant controlling factors and regularities of formation of petroleum accumulations in the Tazhong area [J]. *Journal of Geomechanics*, 2007, 13 (4): 355 ~ 367.
- [8] 李会军, 周新桂, 张林炎, 等. 塔河油田、普光气田碳酸盐岩储层特征对比研究 [J]. *地质力学学报*, 2009, 15 (4): 396 ~ 408.
- LI Hui-jun, ZHOU Xin-gui, ZHANG Lin-yan, et al. Carbonate reservoir comparison between Tahe oilfield and Puguang gasfield [J]. *Journal of Geomechanics*, 2009, 15 (4): 396 ~ 408.
- [9] 田亚铭, 施泽进, 宋江海, 等. 鄂尔多斯盆地东南缘延长组砂岩储集层裂缝特征研究 [J]. *地质力学学报*, 2009, 15 (3): 281 ~ 288.
- TIAN Ya-ming, SHI Ze-jin, SONG Jiang-hai, et al. Characteristics of fractures in the sandstone reservoirs of Yanchang Formation in southeastern Ordos Basin [J]. *Journal of Geomechanics*, 2009, 15 (3): 281 ~ 288.
- [10] 张林炎, 范昆, 刘进东, 等. 鄂尔多斯盆地镇原-泾川地区三叠系延长组构造裂缝分布定量预测 [J]. *地质力学学报*, 2006, 12 (4): 476 ~ 484.
- ZHANG Lin-yan, FAN Kun, LIU Jin-dong, et al. Quantitative prediction of distribution of tectonic fractures in the Yanchang Formation in the Zhenyuan-Jingchuan area, Ordos Basin [J]. *Journal of Geomechanics*, 2006, 12 (4): 476 ~ 484.
- [11] 邢振辉, 程林松, 周新桂, 等. 鄂尔多斯盆地北部塔巴庙地区上古生界致密砂岩气藏天然裂缝形成机理浅析 [J]. *地质力学学报*, 2005, 11 (1): 33 ~ 42.
- XING Zhen-hui, CHENG Lin-song, ZHOU Xin-gui, et al. Mechanism of natural fracture formation in the Upper Paleozoic tight sand gas reservoirs in the Tabamiao area, north Ordos Basin [J]. *Journal of Geomechanics*, 2005, 11 (1): 33 ~ 42.
- [12] 张克银. 鄂尔多斯盆地南部中生界成藏动力学系统分析 [J]. *地质力学学报*, 2005, 11 (1): 25 ~ 32.
- ZHANG Ke-yin. Analysis of the Mesozoic accumulation-forming dynamic system in the southern Ordos Basin [J]. *Journal of Geomechanics*, 2005, 11 (1): 25 ~ 32.
- [13] 周新桂, 张林炎. 鄂尔多斯盆地北部塔巴庙地区与地层挠曲变形有关的构造裂缝分布定量预测 [J]. *地质力学学报*, 2005, 11 (3): 215 ~ 225.
- ZHOU Xin-gui, ZHANG Lin-yan. Quantitative prediction of the distribution of tectonic fractures related to flexural deformation in Upper Paleozoic tight sand reservoirs in the Tabamiao area, northern Ordos Basin [J]. *Journal of Geomechanics*, 2005, 11 (3): 215 ~ 225.
- [14] 武丽, 施炜, 董宁, 等. 鄂尔多斯盆地塔巴庙区块下石盒子组砂岩储层含气性预测 [J]. *地质力学学报*, 2005, 11 (3): 226 ~ 234.
- WU Li, SHI Wei, DONG Ning, et al. Prediction of gas potentials of sand reservoirs of the Lower Shihezi Formation in the Tabamiao area, Ordos Basin [J]. *Journal of Geomechanics*, 2005, 11 (3): 226 ~ 234.
- [15] 张福礼. 鄂尔多斯盆地早古生代复合的古构造体系与天然气 [J]. *地质力学学报*, 2002, 8 (3): 193 ~ 200.
- ZHANG Fu-li. Compound ancient tectonic system and natural gas of Early Paleozoic in Ordos Basin [J]. *Journal of Geomechanics*, 2003, 8 (3): 193 ~ 200.



- [16] 戴金星, 秦胜飞, 陶士振, 等. 中国天然气工业发展趋势和天然气地质理论重要进展 [J]. 天然气地球科学, 2005, 16 (2): 127 ~ 141.  
Dai Jin-xing, Qin Sheng-fei, Tao Shi-zhen. Developing trends of natural gas industry and the significant progress on natural gas geological theories in China [J]. Natural Gas Geoscience, 2005, 16 (2): 127 ~ 141.
- [17] 张水昌, 朱光有, 陈建平, 等. 四川盆地川东北部飞仙关组高含硫化大型气田群气源探讨 [J]. 科学通报, 2007, 52 (增 1): 86 ~ 94.  
Zhang Shui-chang, Zhu Guang-you, Chen Jian-ping, et al. A discussion on gas sources of the Feixianguan Formation H<sub>2</sub>S-rich giant gas fields in the northeastern Sichuan Basin [J]. Chinese Science Bulletin, 2007, 52 (supp. No. 1): 86 ~ 94.
- [18] 翟晓先. 塔河大油田新领域的勘探实践 [J]. 石油与天然气地质, 2006, 27 (6): 751 ~ 761.  
Zhai Xiao-xian. Exploration practices in frontiers of Tahe oilfield [J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27 (6): 751 ~ 761.
- [19] 党玉琪, 侯泽生, 徐子远, 等. 柴达木盆地生物气成藏条件 [J]. 新疆石油地质, 2003, 24 (5): 374 ~ 378.  
Dang Yu-qi, Hou Ze-sheng, Xu Zi-yuan, et al. The conditions for biogas accumulation in Qaidam Basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2003, 24 (5): 374 ~ 378.
- [20] 马玉杰, 谢会文, 蔡振忠, 等. 库车坳陷迪那 2 气田地质特征 [J]. 天然气地球科学, 2003, 14 (5): 371 ~ 374.  
Ma Yu-jie, Xie Hui-wen, Cai Zhen-zhong, et al. The geology feature of Dina 2 gas field, Kuche depression [J]. Natural Gas Geoscience, 2003, 14 (5): 371 ~ 374.
- [21] 冯志强. 松辽盆地庆深大型气田的勘探前景 [J]. 天然气工业, 2006, 26 (6): 1 ~ 5.  
Feng Zhi-qiang. Exploration potential of large Qingshen gas field in the Songliao Basin [J]. Natural Gas Industry, 2006, 26 (6): 1 ~ 5.
- [22] 罗啸泉, 卜淘. 川西洛带气田遂宁组气藏储层特征 [J]. 中国西部油气地质, 2006, 2 (4): 411 ~ 415.  
Luo Xiao-quan, Pu Tao. The reservoir characteristics of Suining formation gas pool in Luodai gas field in the western Sichuan depression [J]. Western Oil & Gas geology of China, 2006, 2 (4): 411 ~ 415.
- [23] 宋岩, 柳少波. 中国大型气田形成的主要条件及潜在勘探领域 [J]. 地学前缘, 2008, 15 (2): 109 ~ 118.  
Song Yan, Liu Shao-bo. Main conditions for formation of middle-large gas fields and the potential gas exploration areas in China [J]. Earth Science Frontiers, 2008, 15 (2): 109 ~ 119.
- [24] 马永生. 四川盆地普光大气田的发现与勘探 [J]. 海相油气地质, 2006, 11 (2): 35 ~ 40.  
Ma Yong-sheng. Cases of discovery and exploration of marine fields in China (Part 6): Puguang gas field in Sichuan basin [J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2006, 11 (2): 35 ~ 40.
- [25] 周新源, 王招明, 杨海军, 等. 塔中奥陶系大型凝析气田的勘探和发现 [J]. 海相油气地质, 2006, 11 (1): 45 ~ 51.  
Zhou Xin-yuan, Wang Zhao-ming, Yang Hai-jun, et al. Tazhong ordovician condensate field in Tarim Basin [J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2006, 11 (1): 45 ~ 51.
- [26] 戴金星, 夏新宇. 长庆气田奥陶系风化壳气藏、气源研究 [J]. 地学前缘, 1999, 6 (增): 195 ~ 203.  
Dai Jin-xing, Xia Xin-yu. Research on source rock correlation of the ordovician reservoir, Changqing gasfield [J]. Earth Science Frontiers, 1999, 6 (supp.): 195 ~ 203.
- [27] 何自新, 郑聪斌, 王彩丽, 等. 鄂尔多斯盆地靖边气田的发现与勘探 [J]. 海相油气地质, 2005, 10 (2): 37 ~ 44.  
He Zi-xin, Zheng Cong-bin, Wang Cai-li, et al. Cases of discovery and exploration of marine fields in China (part 2): Jingbian gas field, Ordos basin [J]. Earth Science Frontiers, 2005, 10 (2): 37 ~ 44.
- [28] 孙宜朴, 许化政, 王传刚, 等. 鄂尔多斯盆地奥陶系风化壳大气田成因分析 [C]. 见第二届中国石油地质年会学术委员会编第二届中国石油地质年会论文集, 北京: 石油工业出版社, 2007, 349 ~ 359.  
Sun Yi-pu, Xu Hua-zheng, Wang Chuan-gang, et al. Genesis of ordovician weathering-crust giant gas field in Ordos basin [C]. The Second Chinese Petroleum Geology Science Committee eds. Symposium of the second Chinese petroleum geology anniversary meeting. Beijing: Petroleum Industry Press, 2007, 349 ~ 359.
- [29] 冉隆辉, 陈更生, 徐仁芬. 四川盆地罗家寨大型气田的发现和探明 [J]. 海相油气地质, 2005, 10 (1): 43 ~ 47.

- Ran Long-hui, Chen Geng-shen, Xu Ren-feng. Discovery and exploration of Luoziyazhai gas field, Sichuan basin [J]. *Marine Origin Petroleum Geology*, 2005, 10 (1): 43 ~ 47.
- [30] 韩剑发, 梅廉夫, 杨海军, 等. 塔里木盆地塔中地区奥陶系碳酸盐岩礁滩复合体油气来源与运聚成藏研究 [J]. *天然气地球科学*, 2007, 18 (3): 426 ~ 435.
- Han Jian-fa, Mei Lian-fu, Yang Hai-jun, et al. The study of hydrocarbon origin, transport and accumulation in Tazhong area, Tarim basin [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2007, 18 (3): 426 ~ 435.
- [31] 郭建军, 陈践发, 段文标, 等. 塔中 I 号构造带奥陶系天然气成因 [J]. *天然气地球科学*, 2007, 18 (6): 793 ~ 797.
- Guo Jian-jun, Chen Jian-fa, Duan Wen-biao, et al. Origin of ordovician natural gases in no. 1 structural belt of Tazhong uplift, Tarim basin. *Natural Gas Geoscience*, 2007, 18 (6): 793 ~ 797.
- [32] 魏国齐, 陈更生, 杨威, 等. 四川盆地北部开江—梁平海槽边界及特征初探 [J]. *石油与天然气地质*, 2006, 27 (1): 99 ~ 105.
- Wei Guo-qi, Chen Geng-sheng, Yang Wei, et al. Preliminary study of the boundary of Kaijiang-Liangping trough in northern Sichuan basin and its characteristics [J]. *Oil & Gas Geology*, 2006, 27 (1): 99 ~ 105.
- [33] 王一刚, 文应初, 洪海涛, 等. 四川盆地及邻区上二叠统一下三叠统海槽的深水沉积特征 [J]. *石油与天然气地质*, 2006, 27 (5): 702 ~ 714.
- Wang Yi-gang, Wen Ying-chu, Hong Hai-tao, et al. Petroleum geological characteristics of deep water deposits in Upper Permian-Lower Triassic trough in Sichuan basin and adjacent areas [J]. *Oil & Gas Geology*, 2006, 27 (5): 702 ~ 714.
- [34] 罗平, 苏立萍, 罗忠, 等. 激光显微取样技术在川东北飞仙关组鲕粒白云岩碳氧同位素特征研究中的应用 [J]. *地球化学*, 2006, 35 (3): 221 ~ 226.
- Luo ping, Su Li-ping, Luo Zhong, et al. Application of laser micro-sampling technique to analysis of C and O isotopes of oolitic dolomites in Feixianguan Formation, Northeast Sichuan [J]. *Geochimica*, 2006, 35 (3): 221 ~ 226.
- [35] 沈安江, 王招明, 杨海军, 等. 塔里木盆地塔中地区奥陶系碳酸盐岩储层成因类型、特征及油气勘探潜力 [J]. *海相油气地质*, 2006, 11 (4): 1 ~ 12.
- Shen An-jiang, Wang Zhao-ming, Yang Hai-jun, et al. Genesis classification and characteristics of Ordovician carbonate reservoirs and petroleum exploration potential in Tazhong region, Tarim basin [J]. *Marine Origin Petroleum Geology*, 2006, 11 (4): 1 ~ 12.
- [36] 张水昌, 朱光有, 梁英波. 四川盆地普光大型气田 H<sub>2</sub>S 及优质储层形成机理探讨 [J]. *地质论评*, 2006, 52 (2): 230 ~ 235.
- Zhang Shui-chang, Zhu Guang-you, Liang Ying-bo, et al. Probe into formation mechanism of H<sub>2</sub>S and high quality reservoirs of Puguang large gas field in Sichuan basin [J]. *Geological Review*, 2006, 52 (2): 230 ~ 235.

## GEOLOGICAL CHARACTERISTICS AND EXISTING PROBLEMS OF LARGE GAS FIELDS FOUND RECENTLY IN CHINA

LI Hui-jun , ZHOU Xin-gui , ZHANG Lin-yan

( *Institute of Geomechanics , CAGS , Beijing 100081 , China* )

**Abstract:** In the beginning of 21st century , natural gas exploration has been developing rapidly in China , with rapidly increasing of proven reserves and more and more newly found large gas fields , mainly located in 6 gas provinces , such as Ordos , Sichuan , Tarim , Qaidam , Songliao and Pearl River Mouth basins. The features of source rocks , reservoirs and traps of the large gas fields are summarized in this paper. It is concluded that the natural gas exploration in China has been developing from monism ( oil type gas-generating ) theory to plurality ( oil-type , coal-derived and inorganic gas-generating ) theories. The coal-derived gas becomes the major resource. Large gas fields can form at every stage of source rock evolution , and may distribute in clastic , carbonate and volcanic reservoirs with major in clastic reservoir and little in volcanic reservoir , and mainly structural-stratigraphic and minor structural traps. Based on the discussion of source rock , reservoir , and reservoiring , the 6 gas provinces are suggested to be main territories of natural gas exploration in the early 21st century in China.

**Key words:** reservoir; source rocks; pluralism of forming mechanism of natural gas; multistage generation of natural gas; composite structural-lithologic trap