

## 中国天然气勘探思路的转变\*

宋岩<sup>1,2</sup> 柳少波<sup>1</sup>

(1.中国石油勘探开发研究院 2.长江大学)

宋岩等.中国天然气勘探思路的转变.天然气工业,2008,28(2):12-16.

**摘要** 建国以来,我国天然气勘探工作及储量增长情况总体上可以分为3个阶段:1975年以前基本上处于停滞阶段;1975~1989年为缓慢增长阶段;1990年以来进入了高速发展的阶段。20世纪70年代以来,我国天然气勘探的重大进展与对天然气聚集规律的认识和勘探思路的转变有着直接的联系。这些勘探思路的转变主要表现在5个方面:从油型气到以煤成气为主的多成因类型天然气的勘探;从构造圈闭到大面积岩性圈闭天然气勘探;从中浅层到深层天然气勘探;从常规天然气到非常规天然气勘探;从陆地到海洋天然气勘探。

**关键词** 中国 天然气 煤成气 勘探方向 勘探方针 转变 勘探成果

自20世纪90年代以来,我国天然气勘探取得了很大的进展,尤其是2000年以来,天然气储量和产量飞速增长,2005年新增天然气探明地质储量 $5720 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,达到历史上的高值,2004年我国天然气产量达 $500 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,进入了产气大国的行业。纵观我国天然气探明储量的增长历史,天然气储量增长大致可分为以下3个阶段(见图1)。

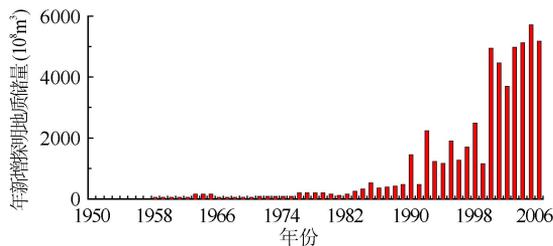


图1 我国历年新增天然气探明地质储量直方图

(1)1949~1974年:受经济条件、天然气勘探开发技术及天然气需求的影响,我国天然气储量增长基本处于停滞阶段,平均每年探明天然气储量为 $53 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

(2)1975~1989年:为天然气探明储量缓慢增长的阶段,天然气探明储量年增长为 $111 \times 10^8 \sim 521 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,平均为 $282 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,较前一阶段上了一个新的台阶。

(3)1990年以后:为天然气探明储量快速增长阶段。其中1990~1999年为天然气探明储量快速增长的第一个阶段,除1991年外,天然气探明储量年

增长均在 $1000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 以上,1998年达到 $2478 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,天然气探明储量年平均增长量为 $1501 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,是上述第二个阶段的5倍,天然气工业从此进入了一个快速成长的阶段;2000~2006年为天然气探明储量快速增长的第二个阶段,除2002年外,探明地质储量年增长在 $4000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 以上,年平均增长量为 $4873 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,2005年年增长量达到历史高值的 $5720 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

勘探实践表明,我国天然气储量的快速增长有赖于大气田的发现,1990年探明了我国第一个储量近 $1000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的大气田——崖13-1气田,之后陆续探明了鄂尔多斯盆地靖边、苏里格、塔里木盆地克拉2和迪那2、莺—琼盆地东方1-1、松辽盆地徐深气田等多个探明储量大于 $1000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的大气田,使我国天然气探明储量迅速增长。

从我国天然气勘探成果及发展趋势分析看,勘探方向的改变和勘探决策对天然气勘探重大突破的取得具有重要的作用。20世纪70年代以来,我国天然气勘探方向主要发生了以下重要的改变:从油型气到以煤成气为主的多成因类型天然气;从构造圈闭到大面积岩性圈闭;从中浅层到深层;从常规天然气到非常规天然气;从陆地到海域。以下分述之。

## 一、从油型气到以煤成气为主的多成因类型天然气勘探

我国20世纪80年代以前发现的天然气成因类

\* 本文为国家“十五”科技攻关课题“重点前陆盆地大中型气田形成主控因素与富集规律”(编号:2004BA616A-04)的研究成果。

**作者简介** 宋岩,女,1957年生,博士,教授级高级工程师,本刊第六届编委会委员;主要从事常规与非常规天然气地质、地球化学及油气成藏等方面的研究工作。地址:(100083)北京市学院路20号。E-mail:sya@petrochina.com.cn

型主要为油型气,自从20世纪80年代以来煤成气地质理论的形成和应用<sup>[1-4]</sup>,天然气勘探的领域被大大拓宽,天然气地质理论的形成、丰富和完善,使得天然气勘探获得了明显成效。从天然气成因类型看具有三大变化趋势,多成因类型天然气的勘探主要取决于对天然气成藏机制以及气源分布的认识。

### 1.20世纪80年代以来煤成气比例逐年增长

20世纪80年代以来,确定了煤成气在天然气资源中的重要地位,煤成气逐渐成为天然气成因类型的主导(图2),发现了一大批大中型天然气田,煤成气探明储量所占比例逐年增高。20世纪80年代以前煤成气在天然气总探明储量所占比例一般小于10%,其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%,成为了天然气中的主要类型。

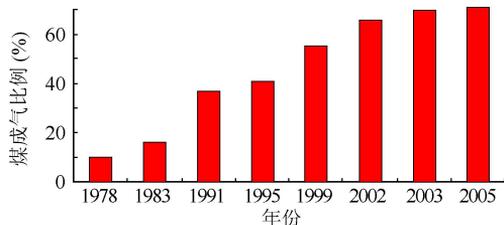


图2 煤成气在天然气探明储量中的比例变化图

### 2.近年来大中型油型气田发现呈增长趋势

先后于1959、1965年发现了四川卧龙河、威远油型天然气田,此后直到1993年才又发现了五百梯气田。大中型油型天然气田勘探在20世纪90年代后期至今取得了较大的进展,先后发现了和田河、罗家寨、塔河、铁山坡、渡口河和塔中I号气田。油型气田的勘探在四川盆地东部和塔里木盆地高过成熟海相烃源岩发育区取得了较大的进展,近年尤其在塔中I号坡折带礁滩以及塔北隆起东部斜坡带勘探成果显著,分别探明了塔中I号气田和轮古气田(图3)。

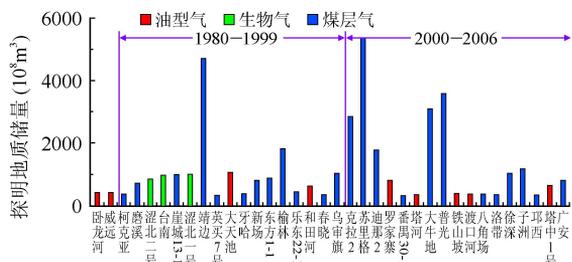


图3 探明地质储量大于300×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup> 大气田的成因类型及探明年代示意图

### 3.生物气和无机气勘探取得较大成效

20世纪80年代末至90年代初,在柴达木盆地

三湖地区第四系先后发现并探明了涩北一号、涩北二号和台南气田。其天然气主要来自于第四系未成熟含碳质泥岩,通过生物降解作用形成。近年来,随着东部松辽盆地深层勘探的深入,无机成因天然气(包括烃类气和CO<sub>2</sub>)勘探取得了较好的成效,在松辽盆地南部长岭断陷长深2、长深4、长深6、长深7井均获得高产CO<sub>2</sub>气流,展现了较好的勘探前景。

### 4.多种气源是天然气成因类型多样化的基础

从大的气源类型看,包括有机气和无机气两种来源,前者是烃类气的重要贡献者,主要包括煤系烃源岩、高过成熟的海相源岩和未熟生物气源岩,后者主要是CO<sub>2</sub>成藏的气源基础,主要与中国东部中生代幔源基性火山岩有关。总体来看,煤系烃源岩和高过成熟的海相源岩是大中型气田形成的基础条件,大型天然气田的发现主要依赖于这两大气源。

煤系烃源岩主要发育在石炭—二叠系海陆过渡相地层和三叠—侏罗系、白垩系和古近系湖沼相地层中(图4)。从区域分布上看,石炭—二叠系煤系烃源岩主要分布于我国中部的鄂尔多斯盆地、四川盆地和东部的渤海湾盆地等,三叠—侏罗系烃源岩主要分布于西部的库车、塔西南、塔东南、淮南、柴北缘,白垩系煤系源岩主要分布于东部的松辽盆地深层,古近系煤系主要发育于东海和南海的断陷盆地。煤系烃源岩主要由煤系泥岩、碳质泥岩和煤岩组成,表现为有机质丰度高、厚度大、分布广、生气强度高的特征,有机质类型为腐殖型,以生气为主。我国大多数大中型气田天然气主要来源于煤系烃源岩,如

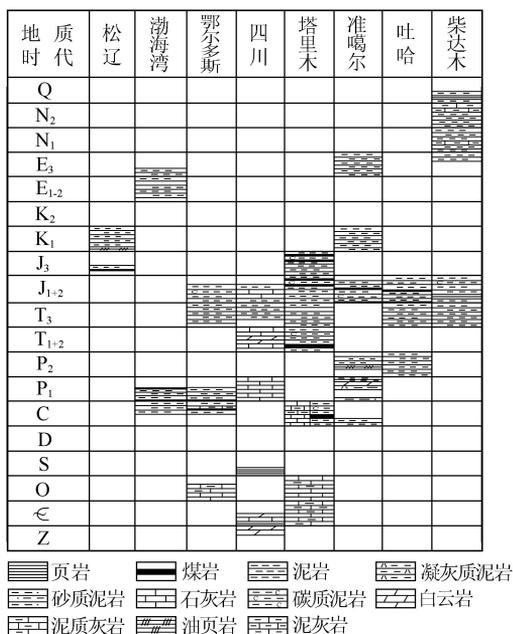


图4 主要含油气盆地烃源岩层系分布图

库车的克拉2、迪那2,塔西南柯克亚,鄂尔多斯盆地上古生界,川西的白马庙、新场、中坝,松辽盆地徐家围子等。

海相高过成熟烃源岩是克拉通盆地重要的气源岩类型,烃源岩主要发育于下古生界,区域上分布于塔里木盆地台盆区、四川盆地、鄂尔多斯盆地、渤海湾盆地等(图4)。海相气源岩主要由泥岩、页岩、泥灰岩等组成,表现为有机质丰度高、分布广、成熟度高特征,多数达成成熟演化阶段, $R_o > 2.0\%$ ,部分地区 $R_o > 3.5\%$ 。天然气成因类型为原油裂解气(如和田河气田、川东部分气田等)或干酪根裂解气(如塔北吉拉克气田等)。

生物气田分布符合“源控论”规律,三角洲区滨—浅湖区腐殖型陆相有机质丰富,生储盖组合好,含气丰富。我国柴达木盆地东部有机碳含量( $TOC$ )平均为 $0.3\%$ ,生气强度最大逾 $80 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 。准噶尔盆地南部中新世塔西河组泥岩最厚达 $500 \text{ m}$ , $TOC$ 为 $0.54\% \sim 1.42\%$ , $R_o$ 为 $0.42\% \sim 0.51\%$ ,分布面积 $3 \times 10^4 \text{ km}^2$ ;莺歌海盆地莺黄组 $R_o$ 为 $0.6\%$ ,浅部大都为较好的生物气—未熟气源岩;渤海湾中部东营组 $TOC$ 为 $0.3\% \sim 5\%$ ,未熟源岩厚度在 $2200 \text{ m}$ 以上的面积达 $1.7 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。较好的生物气形成条件显示出这些地区巨大的勘探潜力。

我国东部松辽及沿海一些盆地 $\text{CO}_2$ 天然气藏主要与受环太平洋构造环境影响的中新性代基性火山活动有关。这些盆地 $\text{CO}_2$ 成因主要为幔源无机成因,成藏时代多为喜马拉雅期,深大断裂和火山岩是控制气藏形成和分布的主要因素。

## 二、从构造圈闭到大面积岩性圈闭 天然气勘探

早期天然气的勘探主要针对构造圈闭,随着高分辨率地震勘探技术的进展,在东部渤海湾盆地岩性油气藏、松辽盆地火山岩油气藏及中部四川盆地碳酸盐岩和鄂尔多斯盆地上古生界油气藏的勘探取得突破以后,岩性油气藏的勘探技术在全国得到了广泛的应用,岩性油气藏的勘探成果显著,主要体现在以下领域。

### 1. 鄂尔多斯盆地上古生界大面积岩性气藏勘探

自“八五”末期,鄂尔多斯盆地天然气勘探的重点由下古生界转为上古生界,岩性气藏的勘探取得了突破性的进展,探明了6个地质储量超过 $1000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的气田;苏里格、乌审旗、榆林、靖边、大牛地、子洲气田,6个气田累计探明天然气储量超过 $1.7 \times$

$10^{12} \text{ m}^3$ ,形成了一个新的大气区<sup>[5]</sup>。

鄂尔多斯盆地广布型石炭—二叠系海陆交互含煤层形成了气源充足、储层广布、盖层发育的有利生储盖组合。鄂尔多斯盆地晚古生代经历了由晚石炭世—早二叠世的潟湖、障壁、潮坪和三角洲的陆表海盆地到早二叠世晚期开始的河流—三角洲发育的内陆湖盆地演变过程,形成了大面积的复合储集体,其中三角洲平原分流河道及三角洲前缘水下分流河道、河口坝等砂体是上古生界碎屑岩储集层的主要储集体,同时也是天然气勘探的主要目标区。上古生界沉积砂体的分布控制了岩性气藏的分布,有利的沉积相带决定着高渗储层的分布,次生溶蚀孔隙的发育是形成有利储层的关键<sup>[6]</sup>。

### 2. 四川盆地须家河组构造—岩性气藏勘探

对于四川盆地上三叠统须家河组的勘探,早期主要是在川西前陆盆地的冲断带取得了突破,发现了中坝和平落坝气田。在前陆盆地、岩性油气藏勘探等新理论的指导下,川中地区上三叠统前陆层序的大面积构造—岩性气藏勘探取得重大突破,在川中地区的广安、充西,川中—川南过渡带的河包场、潼南、安岳等地区勘探取得新发现,展现出须家河组是整个四川盆地一套重要的区域勘探层系。2006年探明的广安气田,预测未来天然气探明储量可达 $1000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 以上。

### 3. 川东飞仙关组鲕滩气藏勘探

四川盆地是我国最老的气区,天然气探明储量主要分布于川东地区<sup>[7]</sup>,占全盆地的50%以上。“八五”期间,川东高陡构造石炭系勘探取得重大进展,探明了8个储量大于 $100 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的大中型气田。气藏是在开江印支期古隆起控制下经喜山构造运动在高陡背斜中再分配而形成的,储层为上石炭统藻砂屑白云岩、角砾状白云岩夹生物灰岩,气源来自志留系黑色泥岩和上二叠统煤系。1995年在渡口河构造飞仙关组鲕滩储层获得高产工业气流,打开了川东天然气勘探的新局面。实践证明,这种鲕滩储层主要分布于碳酸盐台地的边缘,成带状分布,面积广,储层物性较好,勘探潜力大。继渡口河后,又相继发现了铁山坡、罗家寨、金珠坪等鲕滩气藏,2004年探明了目前该盆地最大的气田——普光气田,2006年在开江—梁平海槽的西侧LG地区又取得突破,为开江—梁平海槽西侧天然气勘探打开了新的局面。目前,飞仙关组已成为川东地区天然气勘探的重要目的层。

#### 4. 塔中 I 号坡折带天然气勘探

塔中 I 号坡折带奥陶系发育碳酸盐台地—陆棚边缘高能礁滩相<sup>[8,9]</sup>, 滩体颗粒灰岩构成典型的非均质碳酸盐岩岩性储集体圈闭, 具备形成特大型整装原生岩性油气藏的条件。2005 年塔中 I 号坡折带天然气勘探取得重大突破, 塔中 82 井获高产工业油气流, 是碳酸盐岩第一口千吨产量井, 2006 年塔中 I 号气田累计储量达到  $629.04 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。塔中 I 号坡折带的突破展现了塔中地区巨大的天然气勘探潜力。

#### 5. 塔北隆起斜坡带奥陶系岩溶—缝洞型碳酸盐岩天然气勘探

轮古东奥陶系目前已发现鹰山组上段、一间房组、良里塔格组、桑塔木组共计 4 个含油气层系。轮古东奥陶系内幕油气成藏条件十分优越, 作为长期发育的继承性轮南奥陶系古隆起的东斜坡, 是草湖凹陷和满加尔凹陷寒武—奥陶系优质烃源岩生成的油气向古隆起长期运聚的聚集区, 发育受岩溶作用和断裂作用改造的呈层状分布的岩溶—缝洞型碳酸盐岩储层, 为大油气田的形成提供了储集空间, 油气藏的分布不受局部构造控制, 而是受多层叠置连片的层状分布的岩溶—缝洞型碳酸盐岩储层的控制。该地区已探明了轮古气田, 轮古东奥陶系内幕天然气勘探和周边地区同一层系天然气勘探仍具有较大潜力。

### 三、从中浅层到深层天然气勘探

天然气勘探从中浅层向深层方向发展是近年来的一个特点, 深层天然气勘探具有较大的潜力。这主要因为: 深层较浅层更具有优越的天然气保存条件; 深层天然气储层物性虽然降低, 但气藏相对于油藏来说具有较低的下限值, 另外深层发育物性相对较好的火山岩储层; 深层更接近于高过成熟的气源岩。深层天然气勘探主要领域包括准噶尔及松辽盆地深层火山岩的勘探等。

#### 1. 松辽盆地深层火山岩天然气勘探

松辽盆地白垩纪登娄库组沉积前属断陷盆地, 断陷内存在上侏罗统火石岭组和下白垩统沙河子组和营城组地层。天然气勘探领域包括徐家围子断陷、长岭断陷、齐家—古龙断陷、常家围子断陷和德惠断陷等。

断陷内火石岭组一段、沙河子组、营城二段等湖相泥岩和煤层为三套烃源岩, 暗色泥岩有机碳含量分别为 1.126%、1.5%、1.471%<sup>[10]</sup>, 烃源岩分布以沙河子组为主, 钻遇该套地层的暗色泥岩厚度超过 100 m, 深层天然气具有较大的勘探潜力。根据天然

气成因类型判识, 松辽盆地深层还有无机成因的烃类气和  $\text{CO}_2$  气, 实际的天然气资源量可能较最新一轮油气资源评价结果要大。

松辽盆地火石岭组二段、营城组一段和三段火山岩是断陷 3 套主要储层。从徐家围子火山岩储层特征看, 火山岩的发育和分布受深大断裂的控制, 火山岩优质储层受岩相、裂缝和溶蚀作用的控制。火山岩相控制了火山岩的原生孔隙, 喷溢相上部和爆发相气孔发育; 裂缝对气井高产起到重要作用, 包括有构造裂缝、炸裂缝、冷凝收缩缝等; 火山岩溶孔是主要的次生孔隙, 主要由长石溶蚀形成, 是优质储层形成的关键因素之一。3 套烃源岩与 3 套火山岩储层垂向上间互, 空间上交错分布, 形成断陷复杂的储盖组合<sup>[11]</sup>。

近年来在松辽盆地北部的徐家围子深层和南部的长岭断陷均有重大发现, 松辽盆地北部徐深气田 2005 年新增探明天然气地质储量  $1018.68 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 成为我国东部地区第一个千亿立方米大气田。2006 年松辽盆地深层徐东地区和北部的徐中丰乐、安达地区勘探效果较好, 含气面积进一步扩大。2005 年松辽盆地南部长岭断陷深层天然气勘探取得历史性突破, 长深 1 井中途测试获高产气流, 2006 年长深 2、长深 4、长深 6、长深 7 井均获高产工业气流, 深层天然气展示出很好的勘探前景。

#### 2. 准噶尔盆地陆东地区深层火山岩天然气勘探

陆东地区石炭系滴水泉凸起烃源岩厚度可达 150 m, 纵向上烃源岩主要发育于下石炭统滴水泉组。从钻井及剖面揭示看, 发育深灰色、灰黑色的泥岩、砂质泥岩夹细砂岩和泥灰岩的岩性组合, 属湖相和湖沼相沉积, 泥岩 TOC 为 0.5%~5.5%。

随着我国松辽盆地火山岩岩性及岩相识别技术在西部的推广应用, 准噶尔盆地陆东地区石炭系火山岩天然气勘探效果较好, 滴西 5、滴西 14 井和彩南地区深层石炭系多口井均获工业油气流。总体看, 陆东—五彩湾具有出油层系多、成藏复杂, 虽然获工业油气流井较多, 但天然气勘探程度还很低, 需要进行更深入的研究。

### 四、从常规到非常规天然气勘探

目前我国天然气储量和产量的增长依赖于常规天然气的勘探, 根据国内外常规与非常规天然气资源分布看, 未来非常规天然气的勘探是储量增长的重要领域。这些非常规天然气包括煤层气、页岩气等。近 5 年来我国非常规煤层气的勘探投入了大量

工作,虽然目前煤层气勘探程度还很低,但煤层气资源量大,是未来天然气储产量增长的重要构成部分。

据最新一轮全国煤层气资源评价成果(2005),全国煤层埋深 2000 m 以浅煤层气总资源量达  $36.81 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ,其中可采资源量为  $10.87 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。我国煤层气资源主要分布于鄂尔多斯盆地和沁水盆地,资源量占全国煤层气资源量 50% 以上(图 5)。煤层气的勘探领域包括沁水盆地南部高煤阶煤层气分布区、鄂尔多斯盆地东缘中煤阶煤层气分布区以及北疆低煤阶煤层气分布区。

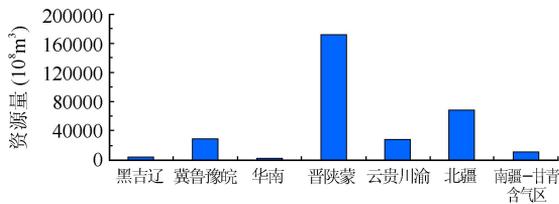


图 5 我国煤层气资源量及其分布图

中国煤层气勘探起步于建国后的煤田地质勘探,20 世纪 90 年代以前主要用于煤矿瓦斯的排放。其后,受美国煤层气产业发展的启发,国家有关政府及行业部门在国内一些重点煤矿区进行了煤层气资源勘探和地面开发试验,其中一些试验取得了成功,探明煤层气地质储量  $1023.08 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,分布于沁水盆地南部和辽宁铁法矿区。2004 年以前,我国每年的煤层气钻井小于 40 口,2005 年以来,煤层气钻井数快速增长,2006 年达到 820 口,1990~2006 年累计钻井数达 1397 口(图 6)。

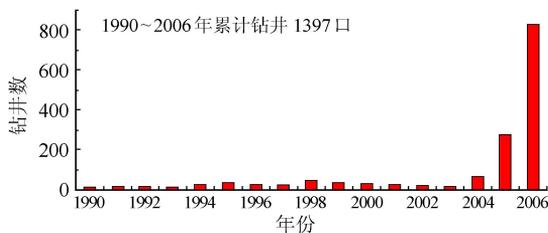


图 6 历年我国煤层气钻井统计直方图

## 五、从陆地到海洋天然气勘探

我国海上油气勘探始于 20 世纪 60 年代初,由于客观原因,20 世纪 80 年代以前天然气勘探进展十分缓慢。其后,在对外合作与自营勘探两条路线相结合的方针下,海洋天然气勘探取得了较大的进展。1990 年探明了海上近千亿立方米的崖 13-1 气田,此

后先后探明了大中型的东方 1-1 气田(1995 年)、乐东 22-1 气田(1998 年)、春晓气田(1998 年)、番禺 30-1 气田(2003 年)。2005 年在水深 1480 m 的荔湾 3-1-1 构造取得重大突破,发现 70 m 厚气层,获得工业气流,揭开了我国深水天然气勘探的序幕。

我国东海和南海海域沉积盆地为一个新生代大陆边缘伸展盆地,古近纪属断陷性质、新近纪属拗陷性质,具明显的双层结构。有利烃源岩和有利储气层均分布在古近系和新近系,源岩有机质类型为海相、湖沼相腐殖—偏腐殖混合型,具有天然气成藏的有利地质条件。莺琼、珠江口和东海盆地天然气资源量在  $1 \times 10^{12} \text{ m}^3$  以上,目前天然气探明率分别为 6.55%、4.55%、1.34%,天然气探明程度偏低。海洋断陷盆地仍是未来天然气勘探的重要领域之一。

## 参 考 文 献

- [1] 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学理论重要进展[J].天然气地球科学,2005,16(2):127-142.
- [2] 戴金星,戚厚发,王少昌,等.我国煤系的气油地球化学特征[M]//煤成气藏形成条件及资源评价.北京:石油工业出版社,2001.
- [3] 宋岩,赵文智,夏新宇.论我国天然气勘探方向的转移[J].天然气工业,2000,20(2):3-7.
- [4] 戴金星,宋岩,张厚福.中国天然气的聚集区带[M].北京:科学出版社,1997.
- [5] 赵贤正,李景明,李东旭,等.中国天然气勘探快速发展的十年[M].北京:石油工业出版社,2002.
- [6] 贾承造,赵文智,胡素云,等.中油股份公司主要含油气盆地油气资源评价报告[R].中国石油天然气股份公司第三轮油气资源评价报告,2003.
- [7] 刘德良,宋岩,薛爱民,等.四川盆地构造与天然气聚集区带综合研究[M].北京:石油工业出版社,2000.
- [8] 赵宗举,李宇平.塔里木盆地塔中地区奥陶系特大型岩性油气藏成藏条件及勘探潜力[J].中国石油勘探,2004,9(5):12-20.
- [9] 邬光辉,李启明,张宝民.塔中 I 断裂坡折带构造特征及勘探领域[J].石油学报,2005,26(1):27-30.
- [10] 李剑,刘成林,罗霞,等.松辽盆地北部深层天然气资源潜力[C]//贾承造主编.松辽盆地深层天然气勘探研讨会报告集.北京:石油工业出版社,2004:74-87.
- [11] 朱德丰,任延广,门广田.松辽盆地北部深层天然气地质特征及勘探方向[C]//贾承造主编.松辽盆地深层天然气勘探研讨会报告集.北京:石油工业出版社,2004:52-59.

(修改回稿日期 2008-1-15 编辑 居维清)