

中国天然气地质理论进展与勘探战略

王庭斌

(中石化石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要: “六五”以来, 以大中型气田勘探方向为重点所开展的天然气地质理论研究的主要进展是: (1) 确立了中国含煤盆地转化为含气(油)盆地的地质条件及含气前景; (2) 阐述了天然气多源、多阶段形成及运移多相态特点; (3) 以热体制和地球动力学为基础建立的“盆、热、烃”理论进一步阐述了天然气生成的关键地质因素; (4) 建立了以晚期、超晚期生烃、成藏为主的多种动态成藏模式; (5) 总结了中国大中型气田的主控因素, 提出了 21 世纪中国天然气勘探战略。

关键词: 中国; 天然气理论; 进展; 勘探战略

作者简介: 王庭斌, 男, 65 岁, 教授级高级工程师, 天然气地质

中图分类号: P618.13

文献标识码: A

自“六五”以来, “天然气”都被列为国家重点攻关项目, 以研究中国大中型气田勘探方向为重点, 开展了中国天然气地质特征及勘探技术方法的研究。在天然气科技攻关成果的指导下, 我国天然气勘探在“六五”以来取得重大的进展, 发现了一批大中型气田, 2000 年天然气年生产量达到了 $277 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。正值世纪之交, 为了在 21 世纪使我国天然气勘探取得更大的进展, 有必要对中国天然气地质理论的主要进展予以总结, 并提出了 21 世纪初期中国天然气的勘探战略。

1.1 含煤盆地转化为含气(油)盆地

根据赋存条件, 煤系气可进一步划分为煤层气与煤成气。据统计^[1], 世界上已探明的天然气储量有近 20% 属于煤成气。石油地质学家以含煤盆地是否有气(油)前景为目的开展的热解模拟试验表明: 中国煤系源岩的有机质含量普遍高于中、新生代的湖相泥岩, 因此, 中国的含煤岩系可以形成大量的煤成气, 但并不是所有的含煤盆地、煤系都可以形成具有工业价值的煤成烃。

1 煤成气

1.1.1 地质条件

冯福阁等^[2]曾概要地总结了我国含煤盆地及含煤岩系的特点以及转化为含气(油)盆地的基本地质条件: (1) 含煤岩系的生烃量足够丰富; (2) 生

成的烃类能适时地得以保存; (3) 具备煤成烃运移、聚集成藏的地质条件。因此, 只有具有沉积厚度大、深覆水沼泽的含煤盆地, 后期持续埋藏, 所形成的煤成气(油)能得以聚集、保存成藏的这些含煤盆地才具备转化成为含气(油)盆地, 具有煤、气、油共存的地质条件。

1.1.2 主要富集区

戴金星等^[3]在研究世界煤成气分布规律的基础上, 提出了中亚煤成气聚集域与亚洲东缘煤成气聚集域。

1.1.2.1 中亚煤成气聚集域

中亚煤成气聚集域以侏罗纪煤系为主。在中国境内经伊犁盆地到准噶尔盆地、塔里木盆地、吐哈盆地至三塘湖盆地。主要沉积中心有塔里木盆地的库车坳陷和塔西南坳陷、准噶尔盆地南缘坳陷、吐哈盆地台北坳陷、以及伊犁盆地的察布查尔坳陷。它们有下列共同特征: (1) 气源岩均是以 III 型有机质为主的中、下侏罗统煤系; (2) 气源岩以陆相为主体, 早、中侏罗世都处于潮湿温带-亚热带气候; (3) 盆地(源岩期)具有相似的大地构造条件和发展历史。

目前已在塔里木、吐哈、准噶尔盆地发现了一批大中型煤成气(油)田^[4]。

1.1.2.2 亚洲东缘煤成气聚集域

亚洲东缘煤成气聚集域包括中国近海海域一系列第三纪含煤盆地(东海陆架盆地、台西盆地、南海北部诸盆地), 是世界第三系重要的聚煤区之一。区内以滨海沼泽相煤系为主, 含煤层系厚度可达千

米至数千米。由于地处多个板块共同作用的活动带,新生代以来持续快速沉降及高地温场特征,为这些含煤盆地转化为含煤-含气(油)盆地提供了有利的地质条件,成为寻找大中型煤成气田的有利地区。区内现已在莺-琼盆地、东海盆地西湖凹陷、台湾西盆地发现了一批以大中型为主的煤成气田,也是中国晚期、超晚期快速生烃、快速成藏的的典型地区。崖13-1大型煤成气田是大家所公认的超晚期(第四纪初)快速生气、快速成藏的实例。

1.2 煤成油

煤的成因可概略地划分为3个基本类型:腐殖

煤、腐泥煤与残殖煤。以腐泥煤的生烃潜力最好。但腐泥煤在世界煤的总量中所占的比例很小,世界上绝大部分的煤是腐殖煤。腐殖煤的主要组分是镜质组,中国主要含煤岩系的镜质组 $>90\%$,甚至 $>95\%$ ^[5]。据傅家谟、王飞宇等^[6,7]的研究,煤岩组分生烃潜力的差异不仅取决于煤岩组分中壳质组分的含量,更主要取决于镜质组的具体成分。在镜质组中,以基质镜质组(或称荧光镜质组、富氢镜质组,包括富氢超微类脂组)的镜质组I和镜质组II生烃潜力最好。正常镜质组和贫氢镜质组以生气,并且以产干气为主(图1)。

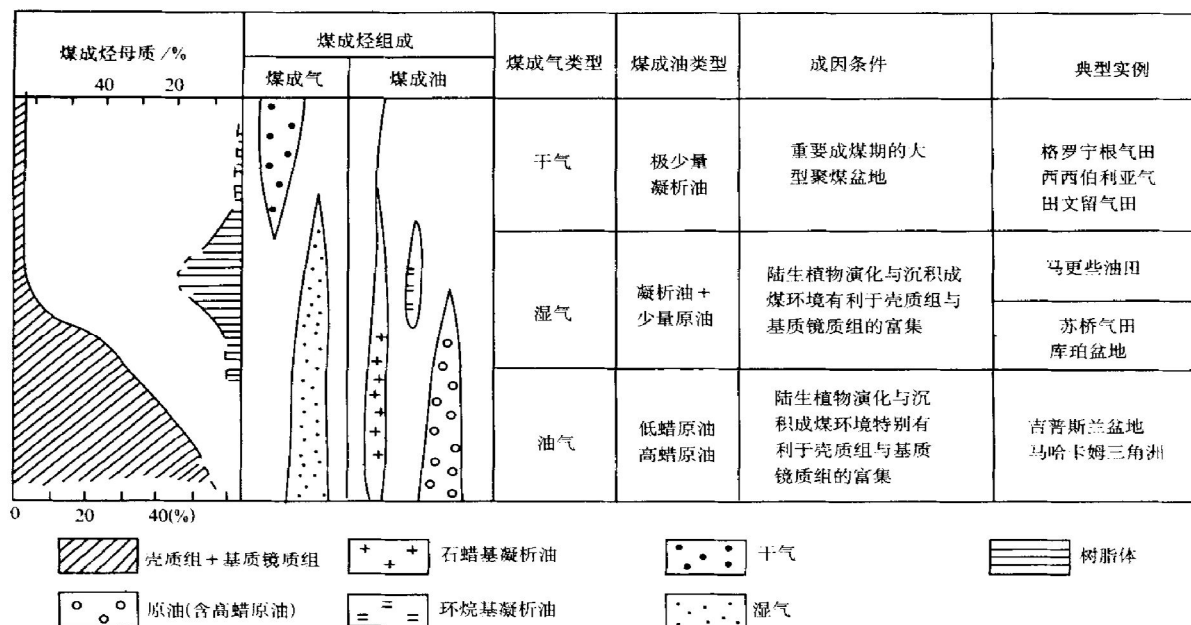


图1 煤成烃演化与石油演化对比示意图^[6]

Fig. 1 Evolution comparison between coal-forming hydrocarbons and oils

黄第藩等^[8]总结了形成具有经济价值煤成油的必要条件:(1)在成煤沼泽中壳质组的富集达到一定水平(10%以上,在气煤-肥煤阶段可降低到5%),干酪根的氢指数 $I_H > 100 \text{ mg}$ (毫克烃/克有机碳);(2)埋藏中煤层的沥青化作用达到了气煤-肥煤阶段 $R_o < 1.5\%$;(3)具有良好的油气聚集保存条件。

2 天然气运聚特点

2.1 多源、多阶段形成

天然气成因的多阶段性是指生气作用多和生气阶段多(图2)^[9]。即有机质在不同演化阶段都可以生成天然气,在有机质的演化过程中有3个主要生气阶段(生气高峰期)。由于不同类型岩石性质的差异,不同显微组分的生烃阶段有早有晚,因此天然气的生成往往具有多峰、多阶段分布的特点^[5]。

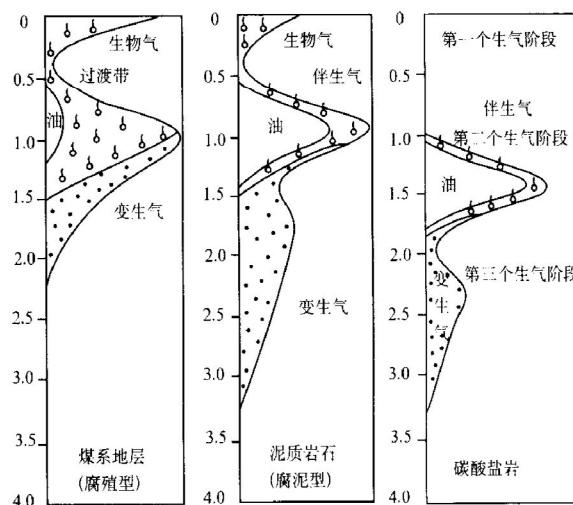


图2 不同类型有机质的主要生气阶段和生气高峰对应图^[9]

Fig. 2 Correspondence map between gas-generating periods and gas-generating peaks for organic matter of different types

2.2 多相态运移

天然气和石油都是流体矿产,其最大的特征就是具有运移性。它与金属矿物元素迁移本质上的不同在于它自生成起就开始了运移,并且运移作用贯穿于油气成藏过程的始终^[10]。长期以来,我们一直把油气联系起来论述,较多地看到了它们之间的许多共性。随着对天然气生成及运移机理研究的逐步深入,从运移角度对天然气与石油的差异性有了进一步的认识^[11]。与相态比较简单的石油不同,天然气至少有油溶相、水溶相、游离气相和扩散相等 4 种主要相态。并且不同有机质类型在不同演化阶段,天然气初次运移相态和方式不同。李明诚^[10]、王庭斌^[11]总结了各类干酪根源岩初次运移的纵向演变(图 3),表明在有机质演化的过程中,由于母质类型不同,所生成烃类的成分及生烃量都在不断变化,周围其他地质条件也在发生变化,这些都会导致天然气运移相态的改变。

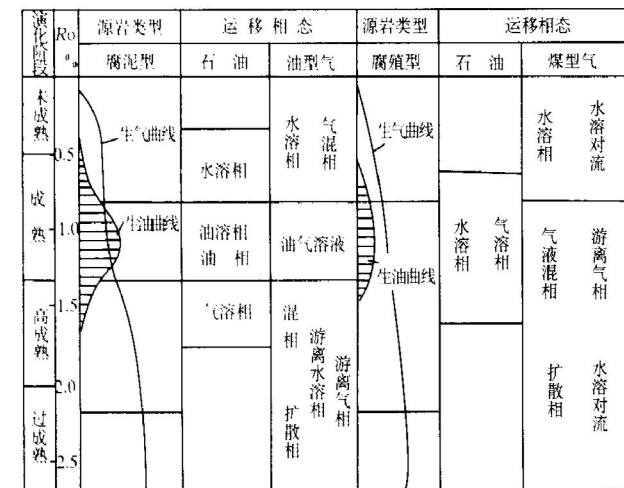


图 3 不同类型有机质形成的石油与天然气运移相态示意图

Fig. 3 Migration phases between oils and gases for organic matter of different types

2.3 脉冲式混相涌流与异常压力流体封存箱

Hunt^[12]压力流体封存箱 (Abnormally Pressured Fluid Compartment) 的提出,深化了对天然气脉冲式混相涌流的研究工作^[9, 13],目前脉冲式混相涌流已逐渐被人们所接受,它可以是气液混相,也可以是纯气相的涌流。在构造运动比较频繁的地区,天然气的运移可能也是以脉冲式涌流为主。

四川盆地西部(简称川西地区)新场气田的形成可能是以脉冲式涌流方式为主形成的^[14]。莺歌海盆地东方 1-1 等气田也是脉冲式混相涌流的实例^[15, 3, 16]。由于天然气体积变化极大,易于积蓄能

量,在以生烃增压为主的地区脉冲式涌流对于大中型天然气藏的形成有着特殊的重要作用。

2.4 运聚模拟

许多地质学家以计算机为手段,以大量地质和地球化学资料为基础,开展数值模拟,量化地研究天然气运移方向、时间、相态等成藏过程。虽然天然气运移量化的研究工作仅仅是开始,但这些研究成果不仅拓宽了天然气的勘探领域,也为天然气地质成为地球领域中的分支学科提供了理论依据。

3 成因分类

3.1 生物成因气

生物气是天然气中的一种重要类型,近 40 年来在世界天然气探明储量中的比例上升很快。20 世纪 80 年代在我国柴达木盆地三湖地区发现了一批第四系生物气田,此外,在松辽盆地西斜坡、苏北盆地及其他盆地都相继发现或证实了以生物气为主的气田及重要的气显示,表明了中国具有丰富的生物气资源潜力^[17]。

生物气模拟实验建立了生物气生成的演化模式,明确了生物气的形成条件^[18]。生物气的形成与热体制和温度的关系密切,具体体现在:(1)生物化学作用以 35℃产气率最高,可占总产率的 40%~60%,随着温度增高,由于厌氧菌发酵作用受到抑制,CH₄ 含量有明显降低的趋势,产气率明显减少;(2)生物气生成演化模式(图 4)中生物气

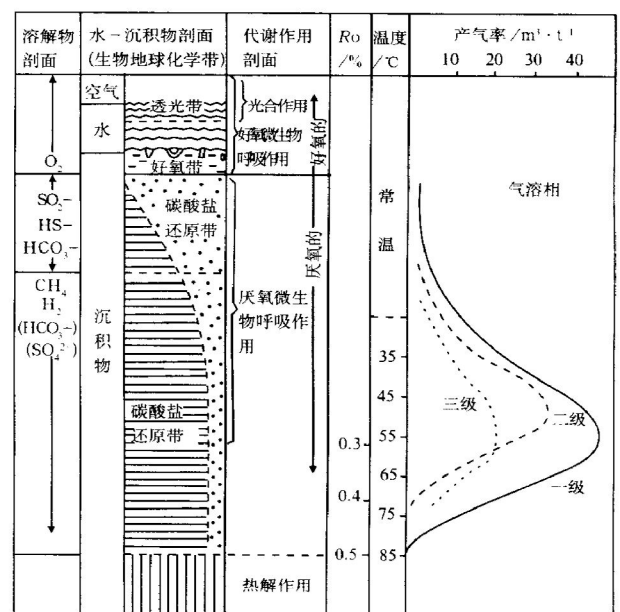


图 4 生物气生成演化模式图^[17]

Fig. 4 Evolution model of biogas

生成量由小到大,又由大逐渐变小,表明了产甲烷菌的存活及活性有一个相对高峰期,这是有机质演化过程中出现的第一次生烃高峰;(3)生物气产率与母质类型有关,产甲烷菌由于其生态习性,只能在一定的环境和温度条件下生存,张洪年、戚厚发等^[17,18]把生物气成气带下限确定在 $80^{\circ}\text{C} \pm$,主生气带为 $25 \sim 60^{\circ}\text{C}$ 。

生物气要真正形成一定规模的生物气田(藏),要有比较严格的自然地理和环境条件:(1)一般为还原-强还原环境,最适宜的氧化还原电位 E_h 为 $-540 \sim -590 \text{ mV}$;(2)水体为近中性水介质,最佳生存范围的 pH 值为 $6.8 \sim 7.8$;(3)水体中 SO_4^{2-} 低;(4)甲烷菌能适应的最佳温度为中等温度 ($30 \sim 60^{\circ}\text{C}$);(5)营养来源主要是水生草本植物;(6)具有能够抑制甲烷菌在浅部的活动性以及有机质能够被较好地保存,使之埋藏到一定深度之后,再开始甲烷菌的活动高峰期的地质环境。

另外,生物气富集对基本地质条件也有较高的要求:(1)有一定厚度的咸水、半咸水湖沼相沉积;(2)快速沉降、迅速沉积有利于生物气快速生成和保存;(3)有一定厚度的良好的盖层及同生各类圈闭;(4)有新构造运动,但并不强烈。

3.2 生物-热催化过渡带气

生物-热催化过渡带气是徐永昌等^[16,19]在“七五”期间研究中国陆相沉积盆地天然气成因体系和地球化学特征过程中提出的天然气成因类型。随着沉积物的埋深加大,地温升高,生物化学作用逐渐减弱,开始了有机质热演化作用,在这样一个沉

积成岩演化作用特定阶段形成的天然气产物,徐永昌等^[20]称之为生物-热催化过渡带。由于它是由生物化学作用与有机质热解作用的综合结果,它既受生物化学的影响,也受到有机质热解作用的影响,表明了过渡带气明显有别于生物气。

生物-热催化过渡带气具有下列特征: $\delta^{13}\text{C}_2$ 主要分布区间为 $-0.38\text{‰} \sim -0.26\text{‰}$, $\delta^{13}\text{C}_3$ 主要分布在 $-0.3\text{‰} \sim -0.24\text{‰}$, $\delta^{13}\text{DCH}_4$ 主要分布在 $-2.80\text{‰} \sim -1.80\text{‰}$,其中 88.6‰ 的样品 $\delta^{13}\text{DCH}_4 < -2.00\text{‰}$,表明了中国过渡带气主要产自陆相沉积环境,与中国中、新生代盆地以陆相沉积为主的特征是一致的。

在中国,过渡带气源岩主要是中、新生代沉积,并以新生代为主。由于时代较新,目前主要分布在我国东部裂谷及断陷盆地,主要埋深为 $1\,000 \sim 3\,000 \text{ m}$,表明了过渡带气的分布也受制于源岩类型、热场、演化、沉积环境、构造作用强度等地质因素的影响。

3.3 天然气分类

天然气成因分类是天然气成因基础理论研究的重要内容之一,自“六五”以来我国学者就提出了多种方案^[16]，“八五”期间,戴金星、徐永昌等^[16]在综合前人成果的基础上,根据气体的来源、母质类型和成气作用,提出了天然气成因类型的综合分类(表1)。

自然界中的天然气常常是不同成因类型、不同来源气体的混合^[21]。为了突出主要成因类型,徐永昌等^[16]提出了天然气的“多源复合、主源定型、多阶连续、主阶定名”的原则。

表1 天然气成因类型综合分类表^[16]

Table 1 Genetic classification of gases

无机成因气		幔源气、岩浆成因气、放射成因气、变质成因气、无机盐类分解气				
	母质类型	成因类型	成熟度			
			未熟阶段	未熟—低熟阶段	成熟阶段	过熟阶段
					油型热解气	
有机成因气	I—II _A	油型气	油型生物气(含原油生物改造型)	油型过渡带气	原油伴生气 凝析油气	油型裂解气
	II _B —III	煤成气	煤型生物气	煤型过渡带气	煤型热解气(常伴生凝析油)	煤型裂解气
混合成因气		异岩两源混合气,同岩两源混合气				

4 “盆、热、烃”关系

“没有盆地,就没有石油”的名言表明了天然气形成的诸因素中,盆地是最基本的因素。

天然气形成受三大要素的制约:有机质丰度、

热演化机制及盆地的动力机制。

冯福阁等^[5,21]用盆地、热机制、成烃(简称盆、热、烃)作为我们研究含气盆地的理论基础。在这里,盆地就是代表盆地的动力学机制,代表盆地沉积、构造的演化历史对天然气成藏的意义;热机制

是指盆地热场的演化历史对天然气生成演化的作用; 烃是指沉积岩中的有机质在上述两种作用下 (热机制与动力作用) 演化形成各种类型气田 (藏) (表 2)。根据“盆、热、烃”的思路, 将我国主要油气盆地划分为纯气盆、凝析气盆、油-气盆、油盆 4

表 2 盆、热、烃演化示意表^[22]

Table 2 Evolution of Basin, geotherm and hydrocarbon

热机制		→ 有机质演化 ←			构造动力机制			
低温环境 < 60℃	未成熟阶段 $R_o = 0.5\%$	生化作用	第一生气阶段	生物气藏	高孔渗	低压	各类圈闭形成及演化	低保存 中保存
中温环境 150℃	成熟阶段 $R_o = 1.3\%$	热降解作用	油窗	油气藏	高-中孔渗	常压		< 3 km 高
高温环境 400℃	高过成熟阶段 $R_o > 4\%$	热裂解作用	第二生气阶段	气藏	中-超低孔渗	高-超高压		< 6 km 中 保存
超高温环境 > 600℃		烃气分解消失阶段			裂缝	超高压		< 15 km 低保存

5 成藏模式

天然气的生成、运移、聚集与散失作用常常是同时进行的, 只是在不同的阶段, 主导作用不同。为了阐明气藏形成中的动态特点, 作者在 1996 年曾将气藏的演变划分为成藏的早期、中期和晚期阶段^[5]。

在成藏的早期阶段, 天然气的聚集量大大地大于散失量, 天然气的聚集占主导地位, 这是气藏生长阶段聚集量大于散失量的不平衡阶段; 在成藏的中期阶段, 气藏处于相对的、短暂的平衡状态, 聚集量的变化较少; 在成藏的晚期阶段, 气源的补给明显减少, 此时气藏的保存成为主导因素。因此, 在气藏演化过程中, 动态的、不平衡的状态是绝对的、主要的, 而处于平衡状态的时间则只是短暂的、暂时的。

要使天然气聚集成藏并保存下来, 必须具备下列最基本的条件^[21]: (1) 适时的供储关系; (2) 必要的聚集空间与保存条件; (3) 总聚集量必须大于总散失量。

总结中国主要的大中型气田从天然气生成-运聚成藏的复杂过程, 可以新生代与中生代的时间界限归为 4 类: 超晚期生烃成藏型; 晚期生烃、晚期成藏型; 早期生烃、聚集、晚期定型; 早期生烃成藏型。

前两类的生烃、成藏过程都发生在新生代, 后两类生烃过程多发生在中生代及更老地层, 成藏过程可发生在中生代及更老地层, 亦可部分地延续至新生代。在总体上以前两类最有利于形成

类。各类盆地主要地质特征不同^[14], 纯气盆地类是指所产天然气以甲烷为主 ($\text{CH}_4 > 90\%$) 的盆地, 如四川、鄂尔多斯盆地。凝析气盆类所产天然气重烃成分较高, 普遍含一定数量的凝析油, 如东海陆架盆地西湖凹陷及莺-琼盆地。

大中型气田, 但不能简单地以成藏时间早晚作为评价能否形成大中型气藏的决定因素。长庆大气田就属于早生早聚型, 四川盆地的气田均属于早生晚定型及早生早聚型。据中国储量 $\geq 100 \times 10^8 \text{ m}^3$ 气田的总储量统计: 超晚生聚型占 20%; 晚生晚聚型占 30%; 早生晚定型占 30%; 早生早聚型占 20%。说明中国主要含气盆地地质发展历史比较复杂, 4 种成藏类型都可以形成大中型气田。但是早生早聚型以及早生晚定型的气藏对保存条件的要求将更为严格, 评价时要更多地注重对保存条件的研究。晚生晚聚型以及超晚生聚型的气藏在评价中将更多的注意对聚集条件的评价。

6 天然气调查

自 20 世纪 80 年代末期^[22, 23] 引进了西方石油地质学家提出的“Petroleum System”和“Play”的研究思路, 在中国掀起了对 Magoon 定义的含油气系统的研究热潮。随着我们对天然气地质研究工作及勘探工作的深入, 我们认为 Magoon 对含油气系统的定义并不适用于中国天然气的地质研究^[21]。这是因为:

(1) 中国天然气普遍存在混源, 对含气系统的封隔性和整体性都是相对的。在许多盆地中不能以一套源岩为主体来划分含气系统, 甚至在同一构造单元内由于混源问题都难以截然划分其含气系统。

(2) 中国的多数含气盆地具有多旋回的构造发展历史, 气田成藏过程具有多阶段、多期性特点, 导致在一个含气系统中从生成到运聚之间的不连续

和时空上的不匹配性, 每项地质作用的关键时刻之间并不匹配, 如果再加上保存持续时间内天然气的再次运聚, 成藏就更为复杂了, 因此不能简单地强调关键时刻的作用。

(3) 大量的实例表明, 没有一种岩类可以绝对地阻止天然气的散失, 影响天然气保存条件的地质因素很多, 保存条件与运移条件之间更不可分割, 在天然气保存的持续时间里, 也可能出现天然气重新运移、聚集形成次生气藏, 因此在天然气地质研究中必须把气藏形成后保存条件的研究放在比较重要的地位开展比较系统的研究(图 5)^[21]。

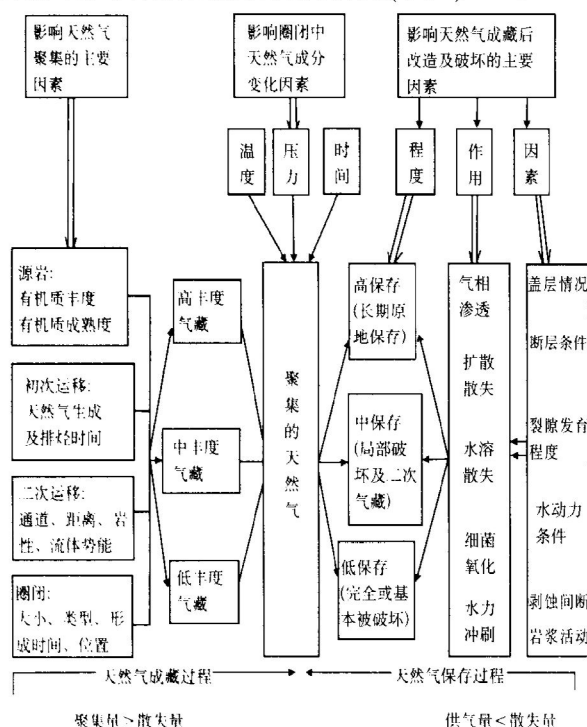


图 5 影响天然气成藏及保存的主要因素、作用图解^[22]

Fig. 5 Diagram showing factors and effects of preservation in gases

(4) 天然气成藏组合(Play)是介于含气系统与勘探目标之间的一个天然气地质实体, 从勘探家的观点来看, 当一个勘探区和勘探领域, 一旦发现了工业气流, 其成藏组合的研究就必须提到议事日程上来, 在已发现工业气藏的地层里, 就应把主要精力从含气系统的研究转移到研究天然气的成藏组合上来。天然气勘探目标是天然气调查系列的最终目标, 对它的评价是盆地-含气系统-天然气成藏组合研究成果的基础上, 最终确定它是否有商业性气流和可能有多少天然气。

总之, 从盆地-含气系统-天然气成藏组合-天然气勘探目标虽然是采用了与 Magoon 等相类似的名词, 但是结合中国的地质特点, 赋以了不同的含

义。在这一工作系列的每一个调查层次都要从生、储、盖、运、聚、保 6 个方面开展静态与动态的, 以运移-聚集为核心的, 研究天然气形成的全过程。在不同的勘探阶段研究重点不同: 在勘探早期以沉积盆地及含气系统研究为主; 在勘探的中期, 以天然气成藏组合及勘探目标评价研究为主; 在勘探的晚期, 我们的研究重点就是勘探目标。

7 21 世纪勘探战略

(1) 发展中国天然气工业必须立足于找寻大、中型气田。中国大中型气田仅占中国气田总数的 3.1% 和 25%, 但拥有中国天然气地质储量的 43.8% 和 43.6% (表 3), 说明了大中型气田在中国天然气工业中占有重要地位, 中国天然气工业的发展取决于发现更多的大中型气田。

表 3 中国各类气田比例简表^[24]

Table 3 Proportion of gas fields in China

类 别	特大型	大型	中型	小型	特小型
气田百分数/%	0	3.1	25	53.6	18.3
地质储量百分数/%	0	43.8	43.6	12.1	0.8

(2) 在立足于寻找大、中型气田的前提下实行大、中、小型并举。

(3) 中国未来天然气勘探的重点是天然气资源最丰富的那些大、中型含气盆地和领域。这些盆地依次为四川盆地、塔里木盆地、莺歌海-琼东南盆地、鄂尔多斯盆地、东海西湖凹陷、准噶尔盆地、柴达木盆地及渤海湾盆地、松辽盆地。虽然这些盆地在近 10 年来的天然气勘探已取得了丰富的成果, 但仍有丰富的天然气资源有待勘探, 可以找到更多的大中型气田。

(4) 在实施“稳油兴气”的总体战略前提下, 加快我国天然气工业的发展。近中期我国天然气勘探的总体布局是: 立足中部、加快西部、发展海域、深化东部。

(5) 加强对四川、鄂尔多斯、塔里木、莺-琼等 4 个大型富气盆地的持续勘探, 力争在 21 世纪初期建设成 4 个万亿立方米级储量的大型天然气基地; 加速对东海、松辽-渤海湾、准噶尔、柴达木 4 个大型富气油盆地天然气勘探, 力争在 21 世纪初建设成 4 个中型(数千亿立方米储量)天然气工业后备基地。

参 考 文 献

- 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. 66~ 87, 206~ 209
- 2 冯福刚, 吴乃苓, 中国含煤- 含气(油)盆地分析[A]. 见: 地质矿产部石油地质研究所. 石油与天然气地质文集(第 1 集)[C]. 北京: 地质出版社, 1988. 1~ 15
 - 3 戴金星, 宋岩, 张厚福, 等. 中国天然气聚集区带[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997. 100~ 168, 219~ 224
 - 4 程克明. 吐哈盆地油气生成[M]. 北京, 石油工业出版社, 1994. 148~ 169, 253~ 304
 - 5 冯福刚, 王庭斌, 张士亚, 等. 中国天然气地质[M]. 北京: 地质出版社, 1996. 98~ 112, 168~ 169, 255~ 260
 - 6 傅家谟, 刘德汉, 盛国英, 主编. 煤成烃地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1990. 15~ 25
 - 7 王飞宇. 煤和烃源岩镜质组中超微类脂体的检出及意义[J]. 科学通报, 1993, 36(2): 151~ 154
 - 8 黄第藩, 秦匡宗. 中国煤成油勘探与研究进展[A]. 第三十届国际地质大会论文集——化石燃料地质-石油、天然气和煤[C]. 1997, 18: 351~ 358
 - 9 张义纲著. 天然气的生成聚集与保存[M]. 南京: 河海大学出版社, 1991. 149~ 157
 - 10 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. 7~ 30
 - 11 王庭斌. 天然气运移理论对我国天然气地质学建立的主要贡献[J]. 石油大学学报(自然科学), 2000, 24(4): 4~ 10
 - 12 Hunt J M. Generation and migration of petroleum from abnormally pressured fluid compartments[J]. AAPG Bull, 1990, 74(1): 1~ 12
 - 13 王庭斌, 冯福刚. 中国天然气地质特征及勘探前景[J]. 石油与天然气地质, 1992, 13(3): 1~ 7
 - 14 王庭斌. 中国盆地的构造格局与天然气分布特征[J]. 地球科学, 1996, 21(4): 21~ 32
 - 15 戴金星, 付家谟, 关德范, 主编. 天然气地质研究新进展[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997. 12~ 23
 - 16 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. 1~ 7, 32~ 55, 118~ 140
 - 17 戚厚发, 关德师, 钱贻钧, 等. 中国生物气成藏条件[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997. 30~ 42
 - 18 张洪年, 连莉文, 顾蕴旋, 等. 生物气模拟实验及地质应用[A]. 见: 地质矿产部石油地质研究所. 石油与天然气地质文集(第 4 集)[C]. 北京: 地质出版社, 1994. 130~ 149
 - 19 刘文汇, 徐永昌, 史继扬, 等. 生物- 热催化过渡带气[M]. 北京: 科学出版社, 1998. 4~ 15
 - 20 徐永昌, 沈平著. 天然气中稀有气体地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1998. 4~ 15
 - 21 王庭斌. 天然气地质调查系列及其研究思路[A]. 见: 中国新星石油公司石油地质研究所. 石油与天然气地质文集(第 8 集)[C]. 北京: 地质出版社, 1999. 1~ 39
 - 22 Magoon L B 主编. 含油气系统——研究现状及方法[M]. 杨瑞召译. 北京: 地质出版社, 1992
 - 23 马贡 L B, 道 W G, 主编. 含油气系统——从烃源岩到圈闭[M]. 张刚, 蔡希源, 高泳生, 等译. 北京: 石油工业出版社, 1998. 3~ 106
 - 24 王庭斌. 中国大中型气田的勘探方向[A]. 见: 中国新星石油公司石油地质研究所. 石油与天然气地质文集(第 7 集)[C]. 北京: 地质出版社, 1998. 1~ 33

THEORY PROGRESS OF NATURAL GAS GEOLOGY AND STRATEGY OF GAS EXPLORATION

Wang Tingbin

(Research Institute of Petroleum Exploration and Development, SINOPEC, Beijing)

Abstract: Major progress in the study of natural gas geology since the 6th five-year plan are as follows:

1. put forward the geological theory of transformation from coal basin into gas(oil) basins;
2. put forward the multi-source, multi-stage and multi-phase gas reservoiring theory;
3. put forward the “basin-geotherm-hydrocarbon” theory based on the thermal system and geodynamics;
4. put forward various reservoir models composed mainly of late and ultra-late hydrocarbon generation and pool forming;
5. summarized main controlling factors of large and medium gas fields in China and the strategy of natural gas exploration in the early years of the 21th century.

Key words: China; gas theory; progress; exploration strategy