

中国天然气地质特征及勘探前景

王庭斌 冯福阁执笔

(地质矿产部石油地质研究所, 北京 100083)

从盆地分析入手, 以热作用为主线, 用动平衡观点研究中国天然气地质特征是我们的总体思路。以盆、热、烃为理论基础, 围绕天然气形成环境和资源分布, 本文提出了三种相互关联的盆地综合分类(热分类, 构造分类及油气资源比例分类)。中国天然气主要来源于四个领域(未熟层系、含煤层系、碳酸盐岩系和湖相碎屑岩系), 分属五种成因类型(生物气、生物-热催化过渡带气、油型气、煤成气及深源气)。大、中型气田形成的地质条件是: 一定的生气强度; 厚度较大的常规储层; 生气期与成藏期较晚; 发育有古隆起与古圈闭; 有良好的区域盖层; 有断层及不整合面为输导等地质因素的综合结果。主要有四大含气领域(煤成气、海相碳酸盐岩气、湖相腐泥气和生物气), 四大含气区的资源前景序次是: 近海气区、西北气区、中部气区和东部油气区。中国今后天然气勘探的总方针是大中小型并举, 远中近期兼顾。

关键词 中国天然气 地质特征 盆热烃生运聚散动平衡 大中小并举 长中近兼顾

第一作者简介 王庭斌 男 56岁 教授级高级工程师 石油地质

实施中国社会主义现代化的伟大宏图, 能源是关键之一, 为缓解中国能源的紧张状况, 发展中国的天然气工业已刻不容缓。为此, 在“七五”期间的国家重点科技攻关项目“油气田的地质理论和勘探技术研究”中设置了“天然气(含煤成气)资源评价及勘探测试技术研究课题(编号75-54-01), 由地质矿产部、中国石油天然气总公司、中国科学院和国家教育委员会共同组织了庞大的科技力量, 开展了科技联合攻关。

五年攻关取得了丰硕成果, “七五”期间天然气储量增长速率较“六五”高一倍, 成为中国天然气储量增加最快的时期; 充分地体现了科学技术是第一生产力的巨大动力。限于篇幅, 本文将着重介绍课题的主要思路及其对中国天然气地质特征的认识。

一、研究思路

油气生成有两个基本因素: 物质和热作用, 前者是基础, 后者是条件。不同的大地构造背景, 不同的盆地类型及盆地的发育演化阶段, 决定了沉积物质的类型、有机质丰度类型, 以及储集岩的特性、圈闭类型, 不同的地热场特征以及“热”作用, 决定了不同盆地油气的形成演化历史、成岩孔隙演化史, 以及天然气的运移聚集特点。

收稿日期: 1992-01-25

* 此文为75-54-01成果的概述, 由地质矿产部石油地质研究所、中国石油天然气总公司石油勘探开发研究院、中国科学院兰州地质研究所等单位共同完成。参加最终报告编写的还有: 张士亚、张洪年、刘国璧、戴金星、戚厚发、程克明、孔志平、徐永昌、刘德汉、卢家烂、张义纲、李德利。

盆地中天然气的成藏是诸种地质因素动平衡的综合结果。我们强调了“热”作用是联系沉积盆地与天然气赋存间关系最密切的纽带。在天然气生气—聚集的历程中,热作用是一最活跃的因素。

与石油相比,天然气是多源的,成气是多阶段的,运移有多个相态,产出类型有多种形式,有很强的扩散性,比石油更难以保存。

因此天然气的成藏过程将包括成矿持续时间和保存时间,即按一定的地质条件下聚集与扩散动平衡的综合结果。

因此,抓住天然气地质与评价中最核心的问题:从盆地分析入手,以“热”作用为主线,用动平衡观点来研究我国天然气地质特点是“七五”天然气科技攻关的总体思路。

二、三种盆地综合分类

1. 热构造区与盆地热分类

全国可分为四个热构造区。(1) 高热构造区:两个第三纪—晚近时期的新构造活动带,即喜马拉雅热构造带、南海中央深海盆和邻区冲绳海槽热构造带;(2) 热构造区:滨太平洋构造域,即晚中生代以来的拉张构造带、岩浆活动带,分布有众多的热点异常;(3) 低热构造区及(4) 中热构造区:中西部压性构造带,晚中生代以前老的构造带和晚中生代以来热事件不活动带。

以地热场的两个基本要素:热流值(Q)和地温梯度(G)为主要参数,将中国盆地划分为四类:

(1) 高热盆类;(2) 热盆类:松辽、二连、渤海湾、南襄、苏北-南黄海、东海、南海诸盆;(3) 中热盆类:鄂尔多斯、四川、柴达木、河西走廊、楚雄;(4) 冷盆类:塔里木、准噶尔盆地。

2. 盆地的构造分类

中国盆地总括起来可划分为两大类:一类是冷的和中热的压性盆地,主要分布在西部和中部,它们的形成、发展与特提斯构造体系的演化关系密切,尤其是晚期受青藏高原上升制约发生强烈沉降,称之为特提斯盆地类;第二类为热的张性盆地,分布在东部陆区和海域,与太平洋板块和欧亚板块之间的相互作用有关,可称之为滨太平洋型盆地类,其最大特征是晚中生代以来热构造活动特别强烈。

压性盆地类有:克拉通盆地、前陆盆地、造山带内盆地、克拉通隆褶带,其中以前陆盆地最为重要,是主要的含气区。张性盆地类有:陆内裂谷、陆内裂陷、小洋盆、被动边缘盆地、弧后盆地。陆内裂谷主要为油盆;被动边缘盆地、弧后盆地主要为气盆。

3. 按油气资源比例分类

气盆类:以气为主,气资源量占该盆地油气总资源量70%以上,如四川、鄂尔多斯、东海、楚雄、台西南、扬子区(南方碳酸盐岩区)、琼东南、莺歌海等八个盆地,它们拥有天然气总资源量的49%。

油盆类:以油为主,油占该盆地总资源量的70%以上,如渤海湾、松辽、苏北、南襄、江汉、柴达木、珠江口等许多盆地,已计算资源量的11个油盆中,天然气资源量占全国总资源量20%。

油-气盆类：气与油所占比重大致相似，如塔里木、准噶尔、吐鲁番-哈密及河淮盆地，气资源量占全国总资源量的30%。

三种分类反映了盆地、热场与油气资源间密切的相关性及因果关系。

从动态平衡的观点分析，时代老一点的盆地，以冷盆对天然气的形成保存比较有利，因为它具有演化缓慢、生气（油）高峰期偏晚的特点，如塔里木、四川盆地；时代新一点的盆地，以热盆具有较好的条件，有利于成气与聚集，如东海、琼东南盆地。

三、天然气与气源岩

中国天然气的分布比较普遍，在所有较大型沉积盆地内都已发现了气田，除志留、泥盆系外，从基底变质岩到第四系都有其分布。目前储量以第三系最多，其次为三叠系。它们主要来源于四个领域：未熟层系、含煤层系、碳酸盐岩系和湖相碎屑岩系。各领域天然气储量所占比例以碳酸盐岩系占第一位，其次为含煤层系。

基于有机质热演化特征，天然气可划分为：生物气、生物-热催化过渡带气、油型气、煤成气及深源气五种类型。

生物气：在成岩作用早期，有机质在还原环境下，由细菌的降解作用所生成的气体，它的生气潜力已被实际成果所证实。

生物-热催化过渡带气（简称过渡带气）：相当于生物成气基本结束，而催化作用尚未达到液态窗阶段形成的天然气，它的特征是有机质的热演化处于未熟到低熟，相应的温度为45—95℃， $\delta^{13}\text{C}_1$ 为-55‰—-48‰， $\text{C}_1/\text{C}_{1-5}=0.7-0.99$ 。沉积环境和水介质条件变化范围较大， $\delta^{13}\text{D}_{\text{CH}_4}$ 为-260‰—-180‰。这一阶段形成的天然气，在中国东部的一些中、新生代盆地分布很广，前景很好。

油型气：主要指由Ⅰ-Ⅱ型干酪根在热催化、热裂解作用下生成的天然气，源岩包括湖相烃源岩和碳酸盐岩烃源岩。可进一步分为正常石油伴生气、正常凝析油气、热裂解气。

煤成气：Ⅲ型干酪根为主的有机质在热演化过程中所生成的天然气。由于中国煤系地层发育，一些大型含气盆地就是以煤成气为主（如东海、南海诸盆地）。

据38个已知含油气盆地统计，凡已获得工业油气流的盆地（或凹陷），一般最大生烃强度均大于 $1\times 10^6\text{t}/\text{km}^2$ ，故将 $0.5\times 10^6\text{t}/\text{km}^2$ 定为可能获得工业油气流盆地的下限值。

对于各类源岩在不同温阶下的热压模拟结果表明，各类源岩各演化阶段气态烃产率随成熟度增高而增大，但各演化阶段各类源岩间差别甚大。总体上Ⅰ、Ⅱ型母质为主的湖相泥岩及海相碳酸盐岩始终保持着高产气率。中国海相碳酸盐岩液态烃产率较低，但其相应阶段气态烃产率较高。以Ⅲ型母质为主的碳质泥岩及腐殖煤，一般产气率较低。对煤层生烃潜力的评价，要根据各显微组分的百分组成，才能较真实地反映各类煤层的生烃潜力。

四、天然气的储集条件

在中国天然气探明储量中，碎屑岩及碳酸盐岩分别占44.1%及54.8%。

中国陆源碎屑岩储层纵向可粗略地分为五套组合，以陆相沉积的河流-三角洲体系为主体，具有非均质性强、岩性比较复杂、储集性能变化较大、普遍有多个次生孔隙发育带及非

常规储层所占比例较大等特点。

次生孔隙发育带是碎屑岩中天然气的主要储集场所。每个盆地都有多个次生孔隙发育带,次生孔隙发育带的深度很广,但最主要的发育带是中成岩 I—Ⅰ_A 阶段 (R^0 0.7%—1.0%±) 及 Ⅰ_B 阶段 (R^0 1.3%—1.5%±)。

受热场控制的盆地成岩作用演化的速率,与次生孔隙发育模式之间有很好的对应关系,由高地温场的热盆(二连、松辽)到低地温场的冷盆(准噶尔、塔里木),成岩作用演化的速率减缓,次生孔隙发育带厚度加大,深度拓宽的规律非常明显。

因此,在影响成岩作用与次生孔隙发育繁多的诸因素中,盆地类型、盆地的发育历史及热史是宏观控制变化趋势的主要因素,在其支配下,每个盆地都会从浅部向深部有序地发育有区域性的成岩孔隙带(多孔带和致密带),它们不受地层层位及岩性的限制。多孔隙发育带主要分布在 R^0 0.6%—1.5% 之间,与有机质热演化有很好的对应关系。

由裂缝网络与次生孔隙发育带组成的砂泥岩储集体,是非常规储层中天然气的主要贮集场所,它们不受制于岩性。孔隙度和基质渗透率不是衡量储集体有效性的可靠指标。

中国碳酸盐岩储层,以古生代海相为主,主要分布在残留的三大克拉通地块上,多属非常规储层系列,但具有较高的产能。好的碳酸盐岩储层多与各类侵蚀间断面的表生成岩作用有关,主要由孔、洞、缝联为一体,非均质性极强,它们可划分为三大储集体系:受沉积环境控制的孔隙型储集体系;受不整合面以及沉积间断面控制的裂缝-溶孔(洞)型储集体系;受构造作用控制的裂缝型储集体系。五种成因类型和五种成岩孔隙演化模式:第三纪生物礁、滩孔隙型储层(模式 A);古生代生物礁溶孔型白云岩储层(模式 B);溶孔型砂屑灰岩、白云岩储层(模式 C);古风化溶蚀型白云岩、灰岩储层(模式 D);裂缝型灰岩、白云岩储层(模式 E)。以模式 A 储集条件最好,模式 C、D 分布最广,前景最大。

五、天然气的封盖保存条件及储盖组合特征

运用动态平衡观点才能对天然气的盖层及保存条件作出合理的评价。因为有效盖层的存在是天然气聚集成藏的重要因素之一,虽然我们可通过储盖层的压力差半定量地预测气藏的最大含气高度及封盖能力,但天然气在圈闭中能否聚集成藏,最终还取决于气源的补充能力要远大于逸散能力。

盖层的封盖能力不仅取决于孔隙结构参数,还与厚度、分布面积、沉积环境、埋深、地层时代、岩性及构造应力强度有关,因此必须与具体地质条件结合进行综合判别。

盖层品质的优劣直接控制了储层的富集系数;但是在天然气聚集中区域盖层的意义最大,它控制了盆地天然气在纵向上总的展布规律。

以盆地类型、演化历史为主线,将中国主要沉积盆地的储盖条件划分为三型,即连续型(A型)、叠合型(B型)和复式型(C型)。三种储盖体系发育在不同类型的盆地,其储盖条件各具特色,总体上 A 型最好, B 型变化最大, C 型封盖条件最差。

碳酸盐岩相对好的储层段都与不同时期的各种表生作用有关,其中有两种表生作用最重要:其一是与区域不整合面晚表生作用有关的储盖组合,其二是与早期表生作用有关的具多旋回特征的储盖组合。

成岩作用演化历史就是一部孔隙的演化历史,是一部原生孔隙不断消失,次生孔隙形成

和演化的历史。发展历史简单的盆地普遍具有连续式的成岩及孔隙演化系列；多层次、多旋回叠合的盆地以叠合式为主；一些克拉通隆褶区以复式为主多属非常规储层体系。

六、天然气成藏的关键因素

天然气的聚集成藏过程，就是一部天然气生成以后的运移聚集和散失的演化历史，是在特定的地质条件下达到动平衡的结果。

通过多方面动平衡参数的基础实验研究，表明天然气的运移方式与石油不同，它具有水中扩散、水溶排液、气相运移、气液混相及水溶对流等多种形式，在不同有机质类型的不同成熟阶段主要的运移相态及运移方式不同。

为研究天然气的运聚成藏过程，结合具体盆地分别建立了多个二维二相数字模型，使我们对于天然气成藏过程的认识及天然气资源的定量评价和预测精确度有了显著的提高。

中国非常规气藏中蕴藏有丰富的天然气资源，因为中国致密砂岩分布很广，非常规致密砂岩气藏不少，煤层甲烷资源丰富。因此，气藏分类首先要将非常规气藏与常规气藏划分为两大气藏系列，目的在于强调非常规气藏系列是中国天然气的一个不可忽视的领域。

目前中国已有探明储量的气（油）田 179 个，它们广布在 15 个盆地中。因为气源及储集条件较石油广泛，表明在中国的所有盆地（或坳陷）中，找到气田并不比找到油田困难，甚至在某些盆地（或地区）只可能找到气田。但是目前储量大于 $100 \times 10^8 \text{m}^3$ 的气田和油气田不多，它们的储量却占全国油气储量的 50% 以上，表明了寻找大、中型气田对迅速增长我国天然气储量有重大意义。

中国大、中型气田形成和富集的主要因素有：（1）具有一定生气强度的气源岩是形成大、中型气田的物质基础。（2）大、中型气田主要富集在厚度较大的碎屑岩常规储层及溶蚀孔（洞）型的碳酸盐岩的储层中。（3）晚期生气和成藏期晚最有利于形成大、中型气田。（4）古隆起区和早期圈闭有利于形成大、中型气田。（5）区域盖层的作用不可忽视。（6）断层和不整合面对天然气的富集具重要作用。（7）二次生气作用的强度是古生代气源岩能否聚集成大、中型气田的重要因素。（8）跨储式和近储式是中国大、中型气田的主要运移、聚集型式。（9）诸项地质因素并非孤立地发生作用，它们都受控于盆地类型及演化这一宏观地质背景，是盆地-热史-生烃成藏间相互联系的一个动平衡的综合结果。

川西坳陷上三叠统致密砂岩气藏，是中国非常规气藏中的一个实例。由于岩石致密化时间早于构造圈闭形成时间，生气高峰又略晚于岩石致密化，因此裂缝是天然气的主要运移通道。成藏运移并不涉及地层内的全部孔隙空间，仅涉及与裂缝系统相联系的那一部分孔隙，气往往依赖裂缝聚集成藏。异常压力系统控制着气藏的形成环境。

川西致密层气藏（田）与北美深盆气均处于与中生代造山带有成因联系的前陆盆地内，但川西地区致密程度高于北美。川西目前尚未发现在向斜中聚气，也没有发现气水关系不正常情况，并且普遍具有高压-超高压异常，因此是与北美水封气藏不同的另一种新类型的致密气藏。

七、中国天然气前景的评价、预测

中国主要有四大含气领域：煤成气、海相碳酸盐岩气、湖相腐泥气和生物气，其中前二者是最主要的两个含气领域，是今后主要的勘探目标。生物气分布并不普遍，但在一些盆地中是一个重要的领域；湖相腐泥气中相当部分为油田伴生气，可以在勘探石油时兼顾。

1. 煤成气领域

中国煤成气在天然气总量中占有较高比重，在大、中型气田（藏）中，煤成气占首位。这些气田的发现及其所处位置，足以说明中国的煤系有相当大的找气前景。

目前发现的煤成气有两种：其一基本上是气，如鄂尔多斯、四川盆地；其二气中含较多凝析气、轻质油，如东海盆地西湖凹陷。与源岩类型、有机质组分、沉积环境及盆地类型有关。

中国含煤岩系按盆地类型可分为三种类型：裂谷型（裂陷型）、前陆型、克拉通型。这三类煤系的构造背景、地热场、沉积环境、岩性、厚度、有机显微组分都有明显的差异，从而影响到它们的生气潜力，成藏规律以及前景评价的不同。

（1）裂谷（裂陷）型煤系具备较优越的生气条件。其中深沼煤系和湖相亚煤系较浅沼煤系好，既能生气又能生油，如渤海湾盆地沙河街组。

（2）前陆型煤系，多属陆上浅沼，富氢组分少，镜质组、惰质组含量较高以生气为主，生气强度远不如前者，气藏规模较小，如川西上三叠统须家河组。

（3）克拉通型煤系，以薄煤系海陆交互相沉积为特征。总体看来北方好于南方，但由于煤系厚度小，气源不够丰富，储层多属低孔渗层系，保存条件较差，成藏条件是三种类型最差者，如中国北方石炭-二叠纪煤系。

2. 海相碳酸盐岩含气领域

泛指我国古生代海相层系，从中上元古界到南方的中、下三叠统，是海相碳酸盐岩为主的一套含气组合。气源既可来自碳酸盐岩本身，也可以来自海相泥页岩层。这是一个重要的含气领域，在我国天然气资源总量中名列榜首，目前探明储量和产量约占 1/2。由于经历了较长而又复杂的地质历史，这类气的赋存、分布状况较中、新生代盆地复杂。

中国海相碳酸盐岩以浅水台地相为主，由于浅水台地相具有低有机碳，贫氢、富氧的特点与Ⅲ型干酪根颇有相似之处，生气潜力高于生油潜力，以生气为主但生气潜力并不高。因此海相碳酸盐岩含气领域的主要气源岩，应是盆地相和较深水台地相沉积，如四川盆地下二叠统，塔里木盆地满加尔古生代坳陷。

3. 湖相腐泥含气领域

中国陆相生油源岩分布很广，多处于成熟阶段，以生油为主，只有一部分盆地有较丰富的伴生气藏，形成一定规模的天然气聚集。

油田伴生气所占比重虽然有限，但广布于东部几大油区为数甚多，随着新油田的开发和发现，还会有较大的增长。

高过熟腐泥气目前发现还较少，在中国许多盆地的深凹陷的陆相源岩有较大生气潜力，要注意找寻深生浅储的“次生”气田。

4. 未成熟生物气领域

这是一个研究与勘探程度较低的含气领域但很有前景。据生物气模拟实验，Ⅰ型有机质生气量为 $120 \text{ m}^3/\text{t}$ 有机质，Ⅱ型为 $90 \text{ m}^3/\text{t}$ 有机质，Ⅲ型为 $45\text{—}55 \text{ m}^3/\text{t}$ 有机质。我国生物气资源分布很广，已发现了十几个生物气的气田，广布在柴达木、松辽、二连、渤海湾及近海诸盆。

常规气与非常规气前景的对比分析表明，今后在碎屑岩领域中找气的主要目标应集中找常规气田（藏），含气层一般不宜过深，4000 m 以上为好，时代新比老好。

非常规气主要问题在于储层差，由此导致了天然气聚集、分布、成藏、压力、产能等一系列条件的复杂性，勘探难度较大，但它们蕴藏了中国近半数的天然气资源，不能忽视。

总体说来，四大气区的天然气资源前景序次是：近海气区、西北气区、中部气区和渤海湾-松辽油、气区。最有希望找到大型气田的盆地是塔里木、东海及莺-琼盆地，其次是四川及鄂尔多斯盆地。松辽及渤海湾盆地以油为主，也有丰富的天然气以中、小型为主，但分布广、埋藏浅，处于经济发达区便于利用。

八、中国天然气资源赋存规律的认识

(1) 虽然天然气与石油有许多共性，但有其自身的特性，因此必须把天然气作为一种独立的矿种。

(2) 盆地、地热场是天然气形成诸因素中的两个决定性因素，缺一不可，盆-热-烃是最简明地体现天然气形成史中的最关键因素。

(3) 要辩证地分析热盆、冷盆对于天然气形成的影响。

(4) 盆地结构及沉积环境是决定气源丰度的主要因素。

(5) 碎屑岩次生孔隙及碳酸盐岩的溶蚀孔（洞）发育层段，是找寻大、中型气田的主要目标。

(6) 一般说来，生气高峰期、成藏期晚比早有利，寻找大型气田主要应在新生代生气、新生代成藏条件的盆地或地区。

(7) 天然气主要富集在气盆和油-气盆中，找寻大型气田要以这两类盆地为主。油-气盆的天然气虽以中、小型为主，但埋藏浅、分布广。

(8) 压性盆地以近源成藏为主，张性盆地远源成藏比较普遍。

(9) 根据天然气生、运、聚、散的动平衡成藏理论，研究大、中型气田形成规律和寻找大中型气田，是快速发展天然气工业的主要途径。

(10) 根据盆、热、烃的指导思想以及天然气成藏动平衡的理论，我国勘探大、中型气田的主要盆地和地区是：莺-琼盆地崖 13-1 凸起、崖 21-1 凸起，东海盆地的西湖凹陷，塔里木盆地的塔北隆起、塔中隆起，四川盆地的川东、威远-磨溪地区，鄂尔多斯盆地中部古潜台区。

九、中国今后天然气勘探的总方针

对于类型不同和资源量不等的盆地应有不同要求，勘探、开发我国天然气资源要根据各个盆地的地质条件和勘探程度、经济地理条件有序地进行安排。

近期：“八五”选择了塔北、西湖凹陷等14个重点勘探区块。

中期：“九五”选择了塔中等12个区块为重点。

远期：2000年以后，在“八五”、“九五”工作基础上将建立起12个新的天然气工业基地，使天然气产量达到 600×10^8 — $1500 \times 10^8 \text{m}^3$ ，为目前的4—10倍，将较大地提高天然气在我国能源结构中的比例。

GEOLOGICAL PROPERTIES AND EXPLORATION PROSPECTS OF NATURAL GAS IN CHINA

Wang Tingbin Feng Fukai

(*Institute of Petroleum Geology, MGMR, Beijing*)

Abstract

The main idea of studying the geological properties of natural gas in China is that to start from basin analysis, take thermal effect as fundamental principle, and use the view-point of dynamic equilibrium. Based on the theory of the relationship between basin, thermal, hydrocarbon, centered on the formation environment and the resources distribution of natural gas, three kinds of interrelated classification such as thermal, structural and oil-gas resources proportional classifications of the basins were proposed in this paper. Natural gas in China is mainly come from sets of immature sequences, coal-bearing formations, carbonate rock series and lacustrine clastic rocks, and belongs to five genetic types named as biogenic gas, biogenic-thermal catalytic gas, sapropelic gas, humic gas and deep sourced gas. The geological conditions to form big- and medium-size gas fields are: 1. certain gas-generating capacity; 2. conventional reservoir of considerable thickness; 3. late gas-generating stage and pool-forming stage; 4. the development of paleo-uplift and paleo-