

第一篇

大会报告

21 世纪初我国油气地球化学 面临的任务和展望

黄第藩

(中国石油勘探开发研究院)

摘 要 本文从我国油气资源勘探与生产形势及 21 世纪初的发展规划出发, 讨论了我国油气地球化学所面临的各项值得研究的主要地区和学科领域。包括我国西北区、东北、东部地区、海洋和境外油气地球化学研究, 天然气地球化学研究, 油藏地球化学, 未熟油、煤成油、生物标志物地球化学和海相油气生成研究以及湖相黑页岩和数字油气地球化学等方面, 并展望了这一学科的发展趋势。

关键词 油气地球化学 天然气 未熟油 煤成油海相生油

在我国石油工业发展史上, 油气地球化学研究是功不可没的。陆相生油理论和源控论的发展和确立, 各油区烃源层系形成的环境条件及其成烃演化史的查明, 一系列指导油气勘探的主要地球化学指标的确定, 油气运移、聚集成藏史的地球化学研究, 以及生油气量和资源量评价, 都为我国油气资源的勘探和决策, 提供了重要的科学依据。与此同时, 从 70 年代后期开始, 随着分析实验技术的进步, 油气地球化学进入了分子级的研究水平, 确立了干酪根热降解生油理论的主导地位, 各油区都建立了烃源岩的成烃演化剖面, 说明到 80 年代, 油气地球化学从技术、理论到应用, 已发展成为一门成熟的学科了, 并在油气勘探开发中发挥着日益重要的作用。

50 年来, 我国石油工业取得了巨大的发展和成就。解放初, 我国原油的年产量仅 $12 \times 10^4 \text{t}$, 1978 年突破了 $1 \times 10^8 \text{t}$; 海洋石油勘探从 1982 年不足 $10 \times 10^4 \text{t}$ 起步, 现已达年产当量油气 $2000 \times 10^4 \text{t}$ 以上的水平。我国近两年油气产量和储量见表 1。由表 1 可知, 1998 年我国原油产量为 $1.6 \times 10^8 \text{t}$ (其中海洋是 $1632 \times 10^4 \text{t}$), 天然气年产 $222.8 \times 10^8 \text{m}^3$ (海洋为 $38.6 \times 10^8 \text{m}^3$), 油气当量年产为 $1.83 \times 10^8 \text{t}$ 。其中, 油产量居世界第 5 位, 气产量居世界第 16 位。石油储量为 $204 \times 10^8 \text{t}$, 可采储量为 $59 \times 10^8 \text{t}$ (海洋为 $17.7 \times 10^8 \text{t}$), 居世界第 9 位, 但人均占有量仅 5t, 居世界第 45 位。天然气储量约为 $2 \times 10^{12} \text{m}^3$, 可采为 $1.3 \times 10^{12} \text{m}^3$, 居世界第 15 位, 人均第 68 位。

从以上数字可以看出, 我国是一个石油生产大国, 但也是一个石油消耗大国, 目前的年消耗量约为 $1.9 \times 10^8 \text{t}$, 从 1993 年开始我国已成为石油净进口国, 当年净进口近千万吨, 供应缺口在年年增大 (据了解我国 1997 年原油净进口 $3385 \times 10^4 \text{t}$, 1999 年达 $4381 \times 10^4 \text{t}$)。我国人口众多, 按人均计算油气资源还是相当贫乏的。特别是与国民经济持续稳定发展 7% 的增长速度相比, 油气供需矛盾将日益突出。如表 2 所示, 到 21 世纪初期, 如果油气供需矛盾得不到缓解, 石油工业将成为制约国民经济发展的瓶颈之一。目前我国石油需求约 15% 靠进口, 预计到 2020 年将有 40% 靠进口 (约为 $1.3 \times 10^8 \text{t}$), 而届时气的供需缺口也将

达到 40%~45% 约为 $800 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

表 1 近两年中国油气产量和储量 (未计台湾省)

1997 年	1998 年
原油产量: $1.6044 \times 10^8 \text{t}$ (海洋: $0.16287 \times 10^8 \text{t}$)	原油产量: $1.6052 \times 10^8 \text{t}$ (海洋: $0.16319 \times 10^8 \text{t}$)
天然气产量: $223.1 \times 10^8 \text{m}^3$ (海洋: $40.5 \times 10^8 \text{m}^3$)	天然气产量: $222.8 \times 10^8 \text{m}^3$ (海洋: $38.63 \times 10^8 \text{m}^3$)
石油探明储量: $190.66 \times 10^8 \text{t}$ (可采储量: $55 \times 10^8 \text{t}$)	石油探明储量: $204.2 \times 10^8 \text{t}$ (海洋: $17.6 \times 10^8 \text{t}$)
天然气探明储量: $1.69 \times 10^{12} \text{m}^3$ (可采储量: $1.05 \times 10^{12} \text{m}^3$)	天然气探明储量: $2.048 \times 10^{12} \text{m}^3$ (海洋: $0.395 \times 10^{12} \text{m}^3$) (可采储量: $1.27 \times 10^{12} \text{m}^3$)

表 2 21 世纪初期中国油气生产计划和需求比较

2000 年	2010 年	2020 年
原油生产: $1.6 \times 10^8 \text{t}$ 需求: $1.95 \times 10^8 \text{t}$ ($-0.35 \times 10^8 \text{t}$)	原油生产: $1.8 \sim 1.9 \times 10^8 \text{t}$ 需求: $2.65 \times 10^8 \text{t}$ ($-0.80 \times 10^8 \text{t}$)	原油生产: $2.0 \times 10^8 \text{t}$ 需求: $3.3 \times 10^8 \text{t}$ ($-1.30 \times 10^8 \text{t}$)
产气量: $300 \times 10^8 \text{m}^3$ 需求: $300 \times 10^8 \text{m}^3$	产气量: $(600 \sim 800) \times 10^8 \text{m}^3$ 需求: $(1000 \sim 1200) \times 10^8 \text{m}^3$ ($-400 \times 10^8 \text{m}^3$)	产气量: $(1000 \sim 1200) \times 10^8 \text{m}^3$ 需求: $(1800 \sim 2000) \times 10^8 \text{m}^3$ ($-800 \times 10^8 \text{m}^3$)

目前,我国油气产量的增长未能与国民经济的发展同步(即每年增长 5%,约 $1000 \times 10^4 \text{t}$ 油气当量),主产油区含水很高,勘探难度加大,后备资源不足。总之,我国石油工业的发展面临着相当严峻的形势。

现在,集团公司正处于重组改制的关键时刻,正在对传统的管理体制和经营机制进行脱胎换骨的改造,以适应新世纪发展目标的要求。这是关系到集团公司前途和命运的重大战略举措。集团公司已经提出了“稳定原油生产,加快天然气发展”的战略目标。

在这种形势下,我国油气地球化学的发展面临着前所未有的机遇和挑战。在当前改革开放、重组改制、市场经济的大潮流中,油气地球化学的发展也应该以社会、经济效益为中心,把应用研究和应用基础研究紧密结合起来,在密切为油气勘探开发服务,促进我国油气资源快速增长中发展自己、壮大自己。

那么,从紧密结合油气资源勘探与开发、优化资源配置、扎扎实实为油气增储上产作贡献,以及从学科本身技术和理论的发展,在新世纪我国油气地球化学将面临一些什么任务及其发展前景呢?

一、我国西北区仍将是油气地球化学研究的主战场

1989 年,总公司提出了“稳定东部,发展西部,油气并举”的战略方针,看来在相当长的一个时期内,我国西北区仍将是我国油气勘探开发增储上产的主战场。首期投资 1200

亿元的“西气东输”工程也将于2001年初全面启动。主干线长4200km（新疆—上海），预计三年建成，届时我国天然气在能源结构中的比重将从2%增长到8%，高峰期生产 $1200 \times 10^8 \text{m}^3$ 左右。1999年我国共生产原油 $1.6 \times 10^8 \text{t}$ （台湾省未计）（我们集团公司 $1.05 \times 10^8 \text{t}$ ，占65%），同比减少 $50 \times 10^4 \text{t}$ ；天然气生产 $252 \times 10^8 \text{m}^3$ （集团公司为 $161 \times 10^8 \text{m}^3$ ，占64%），同比增加 $30 \times 10^8 \text{m}^3$ 。但把东西部分开，则是东部产量下降了，西部增产了。靠西部集团公司的油气产量得以保持平衡的局面。而从1989年到1992年，西部原油年产量在全国总产量中所占份额翻了一番，达15%。

在我国西北区油气勘探进一步发展的前提下，油气地球化学研究也必然成为一个积极的、活跃的领域。何况在油气地球化学研究方面，无论在深度或广度上，西部都不如东部，西部还大有可为，还有不少重要的油气地球化学问题，有待我们去探索，去解决。

譬如：西北地区的油气资源潜力，值得重新评价。现在看来，以往对塔里木盆地地下古生界石油资源的期望值过大，而对侏罗系和天然气资源量的评价偏低。

塔里木盆地古生界海相生油岩研究虽已取得了重大进展，但油气地球化学研究仍然值得加强。寒武系 $20 \times 10^4 \text{km}^2$ 的巨厚盐盖之下的天然气资源的勘探和发现，才刚刚开始。塔中、塔北和库车山前坳陷已知油气田的充注、成藏史等油藏地球化学研究，天然气的多期、多阶混源问题，以及昆仑山前侏罗系诸坳陷的油源评价，都是我们所面临的重要课题。

准噶尔盆地是一个多油源复合的含油气盆地，资源丰富，但各生气油凹陷所控制的有效含油气范围，以及各油气源多期、复合成藏问题，仍然是一个值得深入研究的，对进一步勘探决策和部署具有重要指导意义的课题。

吐哈盆地虽已揭开了我国煤成油勘探的新篇章，并在煤成油研究上取得了重大进展，但关于煤和煤系泥岩对成烃贡献孰大孰小之争，早期和晚期成烃孰主孰次之争，以及二叠系和三叠系油源和成藏规律的研究，仍然摆在我们面前。

柴达木盆地东北部迄今仍保留着我国最大的勘探程度很低的冷湖地面第三系构造带，这里侏罗系油源问题迫切需要进行研究，作出定量评价，为勘探决策提供重要依据。在这里，从鄂博梁1号—葫芦山—冷湖七号—南八仙—马海这一二级构造带应该是值得重点关注，可望找到大油气田的有利场所。

河西走廊诸盆地，特别是酒泉西部和东部盆地的油源和成藏的地球化学问题，仍值得进一步开展。河东盆地将成为河西走廊一个新的使玉门油田原油产量重上 $1 \times 10^6 \text{t}$ 的重要勘探领域。

二、我国东部地区的三个主要研究领域

东部地区一直是我国油气勘探程度高、资源已大部分查明的主要产油区，迄今我国80%以上的探明储量和产量仍然在东部。这就使得主要为油气勘探服务的地球化学研究在相当长的一个时期中陷入了困境，在某些油田几乎无用武之地。跨入新世纪油气地球化学将面临以下三项主要任务：

(1) 从油藏非均质性出发，研究油、气、水物理化学性质的非均质性及其变化规律，即深入开展油藏地球化学研究，查明油藏的充注方向及充注（运聚）史等有关成藏问题，指出新的油藏可能存在的方向。同时，与油藏开发工程相结合，开展油井配产的地球化学相关指纹研究。

在油气成藏过程中，混源成藏是一种普遍存在的现象，包括来自不同烃源层系、不同烃

源区的油气混合成藏以及来自不同成熟度的油气的混合成藏问题。对这一现象的正确认识，直接关系到勘探成效，这在东部块断油气聚集带尤为突出。

(2) 未成熟石油的研究。在我国东部诸含油气盆地中，普遍存在未熟—低熟石油，并日益引起了勘探上的重视。苏北油田在未熟石油理论的指导下，解放思想，将勘探领域由深凹带扩大到斜坡带，使得在 90 年代原油产量由 $80 \times 10^4 \text{t}$ 增长到 $100 \times 10^4 \text{t}$ 。

未成熟石油研究的意义在于：发展和完善成烃理论，拓展新的油气勘探领域。近十年来，特别是在“九五”重点科技攻关“未熟—低熟石油成因机制、成藏条件与资源预测”研究中，对未熟石油的形成环境、油藏地化特征、成烃母质、成烃演化机制和成藏条件等的研究上，都取得了重要进展，并提出了新的成烃演化模式。这一理论突破了干酪根成烃理论的局限性，把沉积物中可溶和不可溶有机质在成烃演化的行为看作一个整体，而未熟石油基本上源于可溶有机质，源于其缔合结构的解聚作用，并非来自年青干酪根的热降解。看来，最有利于未成熟油形成的环境是咸水湖盆、油源岩可溶有机质丰度较高并经历过早期的成烃转化作用。据初步估算，我国未成熟石油的资源量约为 $52 \times 10^8 \text{t}$ ，而现在探明程度还很低，只有 10% 左右。因此，21 世纪未熟油的勘探还有一定的资源潜力。研究上也将会以成烃机理和成藏为中心，继续深化有关研究，必有新的建树，为拓展新的勘探领域提供直接的科学依据。

(3) 深层上元古界—古生界海相油气资源潜力的研究。这肯定是一个具有一定资源潜力的领域。过去发现过由古油田破坏形成的双洞油苗、源自石炭系的苏桥凝析气田，及大港孔古 3 井出油（源于奥陶系）和乌马营潜山气田的发现（源于石炭—二叠系），以及苏北在盐城凹陷中发现了可能源于上古生界的中型气田，储量可能有 $200 \times 10^8 \text{m}^3$ 。这些构成了东部深层勘探的一线曙光。从油气地球化学考虑，应该加强东部古生界油气形成、聚集条件的研究，建立成熟度演化剖面，摸清烃源岩有机质富集地区和成熟度区域展布面貌，为勘探决策提供重要依据。

三、东北区中生界油气地球化学研究

我国东北是一个以白垩系和侏罗系为主要烃源层系含油气区，也是著名的大庆油田所在地和我国陆相生油研究的一面旗帜。大庆油田开采历 40 年，早已进入高含水的开采后期，产量稳不住了，急需找寻接替的油气储量。近十余年来在大庆长垣东西两侧和盆地南部西侧的生油凹陷中找寻以岩性油藏为主的勘探中，相继发现了几个亿吨以上储量的油田，延缓了大庆油田产量递减的速度。在大庆油田外围及东北区诸多的侏罗系煤盆，都还有一些勘探领域和一定的油气潜力，在盆地深部含煤岩系中找气也是一个大有潜力的领域。大庆油田研究院有完善的、设备先进的地球化学实验室，只要能加强地球化学研究队伍的建设，那么油气地球化学的研究必将在我国东北区油气勘探中作出新的贡献。

四、我国海洋油气资源的地球化学研究

我国有 300 多平方千米海域，其含油气盆地面积约为 $60 \times 10^4 \text{km}^2$ ，预测石油资源量约为 $250 \times 10^8 \text{t}$ 天然气资源量 $10 \times 10^{12} \text{m}^3$ 。自 1982 年海洋石油总公司成立，实施对外开放，大量引进外资，进行风险勘探使原油产量从不足 $10 \times 10^4 \text{t}$ 达到了 1997 年 1600 多万吨的水平，产气 $40 \times 10^8 \text{m}^3$ 。最近，在渤海中发现了我国海上第一个大油田——蓬莱油田，储量约 $6 \times 10^8 \text{t}$ ，储层为新第三系，原油密度大于 0.9g/cm^3 ，烃源层为渐新晚期的沙一段和东营组。

尽管原油遭受过生物降解，但仍含正构烷烃，也许有部分是未熟—低熟石油。看来海洋是我国仍有巨大油气勘探潜力的领域。在我国海洋石油勘探中，油气地球化学研究没有得到足够的重视，是一个比较落后的环节。21世纪，随着海洋石油勘探难度的加大，利用各种先进技术包括油气地球化学和各种非地震勘探技术的综合勘探，必然会得到加强，而已知油气田的油藏地球化学研究，也将成为一个重要的研究领域，并给海洋石油勘探提供许多有益的信息。

五、树立全球观念，积极拓展国外油气地球化学研究 为优化我国油气资源配置的格局服务

对我国石油工业的国际合作，江泽民总书记曾批示：“石油工业不走出去，不努力开拓国际市场不行。既要立足国内为主，又要积极参与和开发利用国际石油资源，要两条腿走路。”“积极推动中国与世界各国石油界的交流与合作，实现共同发展。”这是一项重要的可持续发展的战略决策。

按照“积极引进来，慎重打出去”的方针，我国正在加快海外石油勘探开发的步伐，树立全球观念，到海外去寻找油气资源，建立我国稳定的国外油气生产基地，以优化我国油气资源的配置，分享世界石油资源。自1992年以来，中国石油天然气总公司和中国海洋石油总公司先后在秘鲁、加拿大、苏丹、委内瑞拉、马六甲、泰国、哈萨克斯坦等国家和地区取得合作项目或股权。中东—北非、中亚—俄罗斯和南美已经成为我国在国际上进行油气勘探开发的战略区。1996年，我国有近 70×10^4 t原油来自中国的海外油田。1997年9月15日，第十五届世界石油大会在中国举行前夕，“柳河号”油轮满载我国境外生产的 6×10^4 t原油抵达秦皇岛，标志着我国石油国际化经营进入了一个历史发展的新阶段。还有我国海外最大的合作油田——苏丹年产 750×10^4 t大油田两年建成，一条长1505km输油管线一年铺设成功，展示中国石油企业国际经营的实力，2000年我国在国外形成 2500×10^4 t的原油生产能力，得到 1200×10^4 t的原油份额。世界石油不能没有中国，中国石油更离不开世界。

在这种形势下，我国油气地球化学研究必然面临着前所未有的历史机遇，大步走出国门，开展国外海相和陆相烃源岩系油气生成、运移、聚集成藏及评价研究。过去，我们已经做过一些国际合作研究，如开展过美国海相油与中国陆相油的比较地球化学研究、吐哈煤成油的地球化学合作研究、苏丹陆相沉积盆地油源评价以及东西伯利亚托姆斯克油源评价等。今后，我们必然面临着一个更为广阔的世界油气地球化学研究领域，从世界性的研究背景上求得更大的发展。

六、天然气地球化学研究

众所周知，天然气是一种优质、清洁、高效能源，从世界天然气产量在油气产量和能源结构中所占比重的增长趋势来看，21世纪将是一个天然气的时代。

我国天然气工业发展一直是一个十分薄弱的环节，80年代天然气储量只有 0.8×10^{12} m³（含溶解气）在世界140多万亿立方米天然气可采储量中是微不足道的。这种情况，引起了决策层的高度关注，到80年代后期大力加强了天然气资源的研究、勘探和开发，情况才有了明显的改观。1989年发现了鄂尔多斯盆地中部大气田，经10年勘探已探明、控制储量近 5000×10^8 m³的储量，并于1997年7月建成了通向首都北京的输气管线（后又延至天津）。1990年南海发现了崖13-1大气田。青海东部探明了储量上千亿立方米的生物气田（1996

年), 1997年准噶尔盆地南缘发现了呼图壁气田。塔里木盆地巴楚隆起发现了玛扎塔克大气田, 库车坳陷发现了目前我国最大整装克拉2号大气田, 储量 $2506 \times 10^8 \text{m}^3$ 。此外, 老气区四川盆地天然气储量和产量也上了一个新台阶, 总储量已有 $7658 \times 10^8 \text{m}^3$ 。近几年在川东发现了三叠系飞仙关组鲈滩储层中近千亿立方米储量; 在川西白马—松花地区发现了浅层侏罗系砂岩次生煤成气藏。天然气地球化学研究在四川盆地天然气资源开拓中正发挥着日益重要的作用。至此, 到1999年我国天然气储量达到了 $1.736 \times 10^{12} \text{m}^3$ 、产量 $252 \times 10^8 \text{m}^3$ 的水平(1988年为 $139 \times 10^8 \text{m}^3$); 预计在新世纪的头十年中, 我国将形成塔里木、陕甘宁和四川三个上万亿立方米储量和柴达木一个万亿立方米储量的大气区。但是, 与世界相比, 我国的天然气工业的发展水平仍然是相当低的, 其可采储量与原油储量的比例, 世界是0.9:1, 我国是1:20; 油气产量的比值也只有1:0.15(即占13.90%); 天然气在能源结构中的比重, 世界在23%以上(1995年), 我国是2%。大力发展天然气工业已成为21世纪我国一项刻不容缓的任务。“西气东输”工程的建设将极大地推动我国西部天然气的勘探和开发。天然气的地球化学研究也必然会在这一重大的建设工程中作出自己的贡献。

天然气资源的勘探和开发在很大程度上会受到下游工程的制约。一个崖13-1气田的开发, 历时8年才找到婆家, 陕甘宁大气田的气尽管已建成3条输气管线, 但由于相应的配套工程还跟不上去, 至今利用仍非常有限。四川不是无气可用, 已建成 $100 \times 10^8 \text{m}^3$ 以上的年生产能力, 但是旧的以煤为主体的能源结构一时还很难调整过来。但是情况正在发生变化, 国家已确定把大力开发利用天然气作为调整我国能源结构和改善大气环境的一项重要举措, 并把天然气长输管线建设列入全国重点基础建设项目。计划到2010年建成“西气东输、北气南输、川气出川、海气登陆”的管线系统, 形成新疆、柴达木、陕甘宁和川渝四大气区向东、向长江中下游联合供气的格局, 那时, 集团公司的天然气产量将达到 $(450 \sim 500) \times 10^8 \text{m}^3$ 。还计划与国外入境管线对接, 利用独联体西西伯利亚天然气资源等, 实现国内外天然气资源的优化配置。

总之, 我国天然气工业在21世纪面临着快速发展的历史机遇, 天然气和稀有气体同位素地球化学仍将继续成为一个活跃的研究领域。其中, 天然气运移、聚集和散失过程中的同位素分馏效应是一个还有待深入研究的课题, 也是影响天然气气源判识、成因类型和成熟度判识的一个重要因素。同时, 在天然气成藏、煤成气、煤层气、深盆气和甲烷水合物资源的研究也都将摆在我们面前。我国天然气资源潜力到了作出进一步科学评估的时候了。

七、油藏地球化学研究

这是有机地球化学一个新兴的研究方向, 研究储层和油气水流体的非均质性分布规律及其地球化学意义, 在西欧北海油区的研究中取得了成功的经验。在我国80年代后期已经开展起来, 但尚未取得重大进展和显著的经济效益。目前已出版了几本有关译著和著作, 在利用含氮化合物咪唑类研究油气运移成藏方面取得了一些引人注目的成果。在21世纪, 它将会在我国东部油田稳产、挖潜上发挥应有的作用, 而在西部也将会在运移方向的确定、充注成藏历史和揭示新的勘探方向上有所作为。特别是在准噶尔和塔里木这两大盆地中有许多有关问题值得研究。

八、生物标志化合物的研究

应该说, 经过最近20年的发展, 人们对油、岩中生物标志化合物的研究已经相当成熟

了，其研究内容贯穿了从生源、沉积环境、成烃演化到运移成藏和原油生物降解的整个油气形成领域。人们发现几乎所有油、岩都含有相同的一般生物标志化合物，只是各个化合物的相对含量和组成特征（指纹）不同，而特定的指相化合物和特定的生源化合物不多。人们也主要是从生标组合特征所反映的信息中去探讨生源构成、沉积环境以及油气生成、运移、聚集成藏的过程，并用以指导油气的勘探和开发。在 21 世纪，这一发展趋势将会得以延续，并有所拓展和深化。90 年代，生标定量研究，以及含氮、含硫等非烃生物标志化合物噻吩、咔唑等的研究，已成为有机地球化学一个重要的发展方向，在 21 世纪也必然会有一些重要的新的收获。从油气勘探的角度出发，油气地球化学研究的核心是油气源和成藏，所以烃源岩和油藏地球化学中的生标研究必将在 21 世纪取得更大的发展。

九、煤成油的研究

中国是一个煤炭资源极其丰富的国家，东西南北全国各地的煤矿中见到油气显示，是一种十分普遍的现象，但目前已发现的能形成商业性油气聚集的盆地还不多。自 1989 年在吐哈盆地鄯善弧形构造带发现了大规模的与侏罗系煤系地层有关的油气聚集之后，加强了煤成油的勘探，相继发现了或扩大了焉耆、三塘湖、库车、准噶尔盆地东部和南部、柴达木南八仙等，以及我国东北黎树一德惠、海拉尔等煤成油油气资源，它们几乎都是源于侏罗系煤系地层。依据我们对侏罗系商业性煤成油气形成条件的地质地球化学研究，看来，在我国西北和东北还应有一批很少勘探过的侏罗系煤成油盆地值得进一步勘探，如喀什、昆仑山前、冷湖构造带等。同时，石炭一二叠系海陆交互相煤系地层也应该是另一个找寻煤成油气资源的有利领域，而目前还少有发现。下扬子地区的二叠系龙潭煤系是一个有利的勘探对象，苏北盐城气田的发现可能与此有关。可见，在 21 世纪我国煤成油地球化学研究和有机岩石学研究，仍然是一个活跃的研究领域。从学科的角度，煤成油的研究也有一些重要问题有待深化，如煤层与煤系泥岩对成烃成藏的贡献孰主孰次。煤成油初次运移中分异作用非常强烈，重质可溶组分大量滞留在源岩中而聚集到煤成油藏中的几乎都是凝析油或轻质油，这就带来了油源对比上的困难。还有基质镜质体和树脂体等成烃之争，以及煤成油藏的成藏史及其成藏的基本条件等，都是一些值得进一步研究的问题。

十、海相油气生成的研究

近十年来通过塔里木盆地和鄂尔多斯盆地古生界海相油气生成的研究，我国在这个领域中取得了重要进展，发现了大气田（鄂尔多斯中部大气田，下奥陶统是主力气源层之一），也发现了大油气田（塔里木盆地塔中、塔北和巴楚隆起，主力油源层是中上奥陶统，主力气源层是寒武系一下奥陶统）。四川海相石炭系天然气也有一些重要的发现和研究成果。

在中国海相地层中找油是一个相当艰难的领域，这主要是由于我国古生界至三叠系的海相地层中缺乏有机质丰度高的台盆相沉积，普遍存在有机质丰度低、演化程度高和构造变动强烈的情况。但是这种情况并不是绝对的，中国的大地构造背景是复杂的、多变的，因此在时间和空间上总会出现一些油气源条件变好的地区和层位。塔里木盆地中、上奥陶统高有机质丰度的烃源层，成熟度适中就提供了塔中大油田的主要油源。这个事实表明，在古生界海相地层中找油，必须以有机质丰度和成熟度的高低为先决条件。高丰度（有机碳含量大于 0.5%）、成熟度适中才是找到海相石油的有利场所。而碳酸盐岩有机质丰度为 0.2% ~ 0.5%、成熟度较高、构造上相对较为稳定的广大台块区则是找寻天然气田的方向。这是因

为有机质丰度低，源岩中生成的石油难以排出，当达到高成熟时则转变为天然气而排出，成为优质的气源岩。总之，我国海相生油的研究，查明构造上较为稳定的海相油气源区仍将是 21 世纪一项重要的有机地球化学任务。

十 一 、 其 他

我国地球化学工作者，数十年来特别是近 20 年对陆相生油层做了大量工作，有力地指导了油气勘探，但是把它作为一种湖相黑色页岩，采用高分辨率（密集采样）分析手段，像研究寒武系海相黑页岩那样，进行精细的成因模式的研究，仍基本是一个空白。这是一个重大的理论问题，也有着重要的环境和经济意义。因为湖相黑页岩成因的研究，它涉及到地质历史事件，涉及到全球古气候和古环境的突变，涉及到湖泊水体的盐度、温度分层和缺氧底水的形成条件，以及有机质的生产率 and 堆积条件等。在这里，几种海相黑页岩的成因模式是不适用的，只是其形成的基本条件可以借鉴，如果能开展这项研究将会把陆相生油理论提高到一个新的水平。

展望 21 世纪，人类即将进入一个全新的高速发展的信息时代，1998 年初美国已经提出了“数字地球”的概念，引起了世界科学家的广泛关注。1999 年 11 月底在北京召开了首次“数字地球”国际会议。“数字地球”意味着把当今信息科技、空间科技和地球科技整合在一起，把地理信息系统与多方面社会需要及可持续发展战略整合在一起，在更高层次上交叉、融合，建立起规模空前的庞大的数据库。这一宏伟设想一旦实现，就可以在计算机上点击地理坐标而获取任何一地、任何方面的任何信息及三维地理形象。21 世纪将面临建立数字含油气盆地的任务，其中数字石油地球化学是一个不可缺少的方面。一旦完成，我们将可以从计算机上获取盆地中任何一处油气资源的信息以及油气生成、运移、聚集、保存的三维模拟形象，作出勘探决策。在信息技术的利用方面，石油地球化学并不是走在前面的，是加快步伐，完成石油地球化学数字化跨世纪飞跃的时候了。

让我们共同努力，把石油地球化学推向一个新的高度，在 21 世纪以崭新的面貌站在石油勘探开发的前缘。

参考文献

[1] 邱中建，龚再生主编，中国油气勘探，北京：石油工业出版社，地质出版社，1999

“六五”以来天然气地质理论研究及 21 世纪初期中国天然气的勘探战略

王庭斌

(中国石化石油勘探开发研究院)

摘要 “六五”以来天然气地质理论研究以中国大中型气田勘探方向为重点,取得了丰富的科研成果:确定了从含煤盆地转化为含气(油)盆地的地质条件;总结了多相态天然气运移机理;对各类成因天然气形成条件及判识参数的研究;“盆、热、烃”理论的建立进一步阐述了天然气生成中的关键地质因素;建立了以晚期生烃、成藏为主的多种成藏模式;总结了中国大中型气田的主控因素。上述成果提高了我国天然气基础理论水平,促进了中国天然气工业的发展,并为我国 21 世纪天然气工业发展提供了可靠的地质基础。

关键词 含煤盆地 运移机理 成因类型 热机制 成藏模式 勘探战略

为了促进天然气工业的发展,自“六五”以来以研究我国大中型气田勘探方向为重点开展了我国天然气地质特征及勘探技术方法的研究工作。为了在 21 世纪我国天然气地质理论及勘探工作取得更大的进展,本文对“六五”以来我国天然气地质理论的研究成果予以总结,并提出 21 世纪初期我国天然气的勘探战略。

一、确立了从含煤盆地转化为含气(油)盆地的 地质条件,促进了煤成气勘探工作的发展

1. 我国含煤—含气(油)盆地特点

含煤沉积主要受构造—沉积环境与气候环境两个因素的制约。基于成煤的地质与气候环境和油气源岩有许多相似之处,石油地质学家以含煤盆地是否有气(油)前景为目的,通过煤地质地球化学与石油天然气地质地球化学相结合开展了大量的研究工作,表明了我国煤系源岩的有机质含量普遍高于中、新生代的湖相泥岩。我国的含煤岩系可以形成大量的煤成气,是我国天然气的重要气源岩。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。

我国含煤盆地的构造演化可以分为古生代含煤盆地与中、新生代含煤盆地两个阶段:古生代含煤盆地以巨型克拉通盆地为主,煤系地层展布的面积广而厚度不大,沉积环境以海陆交互的滨海沼泽为主,沉积环境比较稳定;中、新生代含煤盆地以中小型、群体型的各类陆相断陷盆地和各类前陆盆地及陆内拗陷含煤盆地为主,这些含煤盆地面积虽小,但煤系地层的厚度一般比较巨大,沉积环境多变,煤岩成分及煤系地层的岩性变化较大。冯福凯等(1988)以含煤盆地转化为含(气)盆地的地质条件为主线,将我国的含煤盆地分为四类盆地和两类结构、四类沉积和两种环境,并用含煤—含气(油)盆地成藏模式图,概要地总结了我国含煤盆地及含煤岩系的特点以及含煤盆地转化为含气(油)盆地必须具备的地质条件

是：

- (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，具有深覆水湖沼相为主的含煤盆地，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。

据我国煤层气的统计，以晚中生代—第三纪裂谷型（含非裂谷型拉张断陷）煤盆含煤岩系的生烃潜力最好，近年来在这类煤盆中如松辽盆地白垩统、渤海湾、东海、南海诸盆地下第三系含煤岩系中发现了一系列煤成气田，其中煤成凝析油田和煤成油田占有一定的比重。

晚古生代克拉通型含煤岩系，煤成气前景低于裂谷型煤系。近年来在鄂尔多斯盆地中、北部发现的石炭—二叠系及其下伏的奥陶系顶部碳酸盐岩风化壳的大气田都源于晚古生代克拉通型含煤岩系，在渤海湾盆地、四川盆地也发现了源于晚古生代克拉通型含煤岩系的气田。

前陆型含煤岩系煤成气的资源前景在总体上较前两者为差，但在一些具有巨厚煤系沉积、持续埋藏的前陆型含煤岩系也有很好的煤成气（油）前景，如四川盆地川西地区上三叠统、塔里木盆地库车坳陷、吐哈盆地侏罗纪含煤岩系都是这些盆地（坳陷）天然气的主要源岩，在这些地区已发现了一批大中型煤成气田，还发现了一批煤成油田。

2. 中亚煤成气聚集域与亚洲东缘煤成气聚集域是我国煤成气两个主要的富集区

“八五”期间戴金星等提出了中亚煤成气聚集域与亚洲东缘煤成气聚集域。中亚煤成气聚集域以侏罗纪煤系为主，在我国境内属于中亚煤成气聚集域的东缘，是仅次于华北石炭—二叠系含煤岩系，分布面积居第二位的主要含煤岩系。含煤沉积主要有塔里木盆地的库车坳陷和西南坳陷、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。据地化资料统计，暗色泥岩的有机碳含量多数为 1%~2%；有机显微组分虽以镜质组为主，但壳质组含量相对较高：在吐哈盆地为 6.5%~8%，准噶尔盆地为 17%~22%，表明了区内侏罗系煤系不仅具有很好的生成煤成气的潜力，而且在一定的地质条件下还具有良好的生成煤成油的能力。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。

亚洲东缘煤成气聚集域在我国近海海域有一系列第三纪含煤盆地（东海陆架盆地、台湾盆地、南海北部诸盆地），是世界第三系重要的聚煤区之一。由于该区地处太平洋板块、菲律宾板块，印度板块与欧亚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。由于煤系地层的时代新、地温梯度高以及后期的快速沉降，区内也是我国晚期、超晚期快速生烃、快速成藏的典型地区。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。

3. 煤及煤系地层形成工业价值煤成油的地质条件

煤及煤系地层在特定的条件下也具有一定的生油能力，但在什么特定的条件下，以及能否生成比较大量的煤成油形成较大的聚集，目前已基本上取得的共识是：

- (1) 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，据傅家谟、王飞宇等

的研究，由于镜质组中含有超细分散状的类脂体，当超微类脂体的含量大于 8% 时，就可以具有较好的生成煤成烃的能力。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）生气潜力最好，正常镜质组和贫氢镜质组主要生成气，并且以产干气为主。因此，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，更主要的取决于镜质组的具体成分。

(2) 黄第藩等（1997）总结形成具有主要经济价值的煤成油，须具备的必要条件：①在成煤沼泽中壳质组的富集达到一定水平（10% 以上，而在气煤—肥煤阶段可降低到 5%），干酪根的氢指数 $I_H > 100 \text{mg}(\text{mg}(\text{烃})/\text{g}(\text{有机碳}))$ ；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。在以上三个条件下就可以形成以轻质油和凝析油为主的煤成油田。

4. 煤成气地质理论研究，促进了我国煤成气勘探工作取得重大进展

在各类成因的天然气中，煤成气勘探形势最好，发展最快。据戴金星统计（1999），煤成气探明储量近 20 年增长很快，1978 年底探明煤成气储量仅占我国气层气储量的 9%，至 1997 年底已上升至 50.9%，因此，我国探明气层气储量从 1978 年至 1997 年能够增长 6.5 倍，探明煤成气储量的高速增长起了十分重要作用。当前煤成大中型气田已成为我国天然气储量增加的支柱，随着对煤成气地质理论的深入研究，我国煤层气的勘探开发定会取得更大的进展。

二、天然气与石油在成因、运移相态上的差异性， 为天然气地质学成为地球科学领域中的新兴 分支提供了可靠的依据

天然气的多源、多阶段形成和多相态运移是天然气与石油相比的重要特征之一。

长期以来，人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。

(1) 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多种相态。

(2) 不同有机质类型在不同演化阶段，天然气初次运移的方式不同。

(3) 天然气初次运移的四种主要相态表明了地层中温度、压力的变化是天然气运移多种运移相态的主要动力，特别是异常高压在天然气初次运移中的作用最为重要。

(4) 天然气初次运移相态、时空分布对天然气二次运移有重要影响，但是初次运移相态的重要性在天然气二次运移中不同。

(5) 各种运移机制都要求一定的地质条件，在不同的地质条件下，上述的运移机制不同。张义纲等对上述各种运移机制的运移条件开展的模拟实验表明：

水溶对流运移的速度是扩散速度的 4~6 倍，地质体中，只要有地温梯度和天然气生成，就会有水溶对流。地温梯度越大，对流的地层越厚，天然气生成的越多，埋深越大，水溶对流的速率就可能越高。

混相涌流运移是二次运移的主要形式，但温度越高越不利于混相涌流，压降幅度对于油的混相运移影响较大，混相涌流对于天然气不如油重要。

水溶扩散不是主要的运移机制，因为重烃对甲烷的扩散有抑制作用，而且当岩样置于

水中与不浸泡对比，甲烷的扩散系数大大缩小。

上述天然气初次运移主要动力的认识多适用于泥质岩类，对于碳酸盐岩并不完全适用。在一定的地质背景下，碳酸盐源岩存在爆炸性运移的可能性（R.W.Jones, 1984）因为碳酸盐源岩主要为细粒碳酸盐岩，埋藏至一定的深度（这个深度比泥质岩浅得多），就变成了不渗透的或者是极低渗透性，会使其中的有机质生成处于接近地静压力的条件下，而不能被通畅地排出，此时区域应力体系只要略有变化，就可以导致烃类迅速地向邻近的岩石中注入。其主要通道除了微孔隙（包含各类晶间孔、粒间孔隙）以外，各类微裂缝（如压溶的微缝合线、成岩缝、构造缝）也是重要的通道。事实上在碳酸盐岩中的许多微缝合线和缝合线内以及各类裂缝中有机质特别丰富，也从另一个侧面表明了这些是碳酸盐源岩的主要通道。

碳酸盐岩与泥质岩在生烃机制方面既有共同之处，也存在有较大的差异。就沉积有机质而言，碳酸盐岩与泥质岩之间并无本质的差异，两者的差异在于矿物基质的不同，不同种类矿物基质具有不同的吸附包裹和释放有机质的性能，这就导致在碳酸盐岩和泥质岩石中，有机质的演化、生烃和排烃产生很大的差异，使碳酸盐岩能够保存残余烃类和残炭的量往往低于泥质岩类。

(6) 脉冲式混相涌流与异常压力流体封存箱的研究为天然气运聚研究开拓了新的思路。

Hunt (1990) 通过对世界上 180 多个沉积盆地研究提出的压力流体封存箱（Abnormally Pressered Fluid Compartment）的概念深化了对天然气脉冲式混相涌流的研究。因为当封存箱（地质体）具很好的生烃能力，随着盆地沉降，有机质演化的不断加深，封存箱内源岩的有机质将不断生成烃类，加之其他地质作用的影响，封存箱内地层压力不断增大到岩石的破裂压力时，箱缘就会产生破裂，呈脉冲式地涌出流体，释放压力。随着压力下降，微裂缝将重新闭合或被方解石等矿物充填，封存箱内的压力重新上升，直到下一次破裂产生涌流。因此，脉冲式混相涌流是盆地持续埋藏、压实加剧、地温增高、有机质生烃过程发展的必然结果。

脉冲式混相涌流机理表明了天然气初次运移可能是一个不连续间断式的过程，即由压力增大—岩石微破裂—油气排出一微裂隙闭合的反复进行所产生的间隙性的排烃过程。脉冲式涌流可以是气液混相，也可以是纯气相的涌流。它可能发生在具异常压力流体封存箱内及箱缘，但并不仅限于上述地质环境。在构造运动比较频繁的地区，天然气的运移也可能就是以脉冲式涌流为主。例如四川盆地西部新场气田的形成可能是以脉冲式涌流方式为主形成的，在纵向上跨度 3000 余米的地层中形成了多个气藏。

周文英等 (1999) 通过泥岩压实作用的研究探讨了新场气田天然气的成藏时间，表明了新场气田从千佛崖组气藏至蓬莱镇组气藏，虽然都是次生气藏，但从深部的千佛崖组气藏至浅部的蓬莱镇组气藏，气藏的形成时间从早白垩世的早期一直延续至早白垩世的晚期，说明了新场气田众多的次生气藏是以脉冲式涌流方式为主形成的。

(7) 天然气运聚模拟研究加深了对天然气动态成藏的认识。

由于多学科的广泛渗透以及计算机技术在石油地质领域的广泛应用，石油地质学走向了一个全新的时代，许多地质学家一方面通过各种地球化学指标、模拟实验并以计算机为手段，模拟自然界复杂的天然气生成、运移、成藏过程。

当前对天然气运聚模拟研究以二次运移为主，研究工作以地质历史中流体势能变化为核心，研究油、气、水的运移特点及运移量、聚集量，进一步评价天然气聚集丰度及其前景。这项研究工作正在广泛地开展，已取得了一定的成果，使人们对不同类型盆地中不同类型气

源天然气运移的排烃过程、排烃量、聚集量及保存条件有了半定量化的认识，提高了人们对天然气成藏条件的认识。

由于天然气运移所涉及的地质因素很多，诸多的地质因素在漫长的地质历史长河中在不断的变化，人们所看到的仅是这些变化的结果，对其变化历程多属推断、分析，因此对天然气运移定量化的研究工作仅仅是开始。但是上述对天然气多源、多阶段、多运移相态的成气、成藏理论的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科学领域中的分支学科提供了理论依据。

三、各类成因天然气形成条件及判识参数的研究 提高了我国天然气基础理论的研究水平

1. 生物成因气模拟试验及生物气形成条件与判识研究

广义的生物成因天然气包括一切生物作用下生成的天然气。本文讨论的生物成因气是指在成岩作用或有机质演化早期阶段，在还原条件下，由厌氧菌（甲烷菌）降解所生成的以甲烷气体为主的天然气，不包括经历了微生物氧化降解形成的天然气。据生物气模拟实验所建立的生物气生成的演化模式表明：

(1) 产甲烷菌的存活及活性有一个相对高峰期，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，这是有机质演化过程中出现的第一次生烃高峰。

(2) 生物气产率与母质类型有关，产甲烷菌由于其生态习性所致，只能在一定的环境和温度条件下生存，其活性最佳状态也限于一定的温度范围内，张洪年、戚厚发等把生物气成气带下限确定在 80℃ 左右，主生气带为 25~60℃。

(3) 生物气的分布比较广泛，但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及地质条件：①一般为还原—强还原环境，最适宜的氧化还原电位为 -540~-590mV；水体为近中性水介质，pH=5.9~8.8，最佳生存范围为 6.8~7.8；水体中 SO₄²⁻ 介质低；甲烷菌能适应的温度为 0~80℃，最佳为中等温度（30~60℃）；营养来源主要是水生草本植物；⑥最主要的是要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。

(4) 生物气富集的基本地质条件。生物气的富集与其他成因天然气一样，只有生气条件和储集保存条件都具备的条件下，才能形成一定规模的富集。结合我国中、新生代以陆相沉积为主的特点，生物气富集必须具备以下四个基本条件：有一定厚度的咸水、半咸水湖沼沉积有利于生物气的形成；快速沉降、迅速沉积有利于生物气快速生成，也有利于生物气的快速保存；有一定厚度的良好的盖层及同生各类圈闭；有新构造运动，但并不强烈。

总之，沉积物自沉积埋藏以后，在浅层就开始了生成少量的生物气（沼气），但只能形成气包，不能形成气藏，因为它不具备上述的地质条件。要使生物气形成工业气藏，就要抑制甲烷菌在近地表的繁殖速度，并使有机质被保存而不被氧化。从我国的实际情况看，最有利的环境是具持续沉降特征的咸水—半咸水湖沼，如柴达木盆地三湖区第四系丰富的生物气的源岩就是第四纪的咸水湖沼沉积。

2. 生物—热催化过渡带气的研究

生物—热催化过渡带气是徐永昌等在“七五”期间研究我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一种天然气成因类型。

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。此时沉积物中的有机质正处于两个不同性质演化阶段的过渡时期，在这样一个沉积成岩演化作用早期的特定阶段形成的天然气产物，称之为生物—热催化过渡带气。由于它是由生物化学作用与有机质热解作用的综合结果，因此所受到的地质及自然地理因素更为复杂，气体组分变化较大。

影响天然气组分 C_1/C_{1-5} 的因素除演化程度外，还有运移作用。徐永昌等根据过渡带气的地球化学特征，建立了我国过渡带气的分布模式，并将过渡带气进一步分为：低演化和运移的过渡带气 $C_1/C_{1-5} > 0.95$ ，典型过渡带气 $C_1/C_{1-5} = 0.5 \sim 0.95$ 、残留过渡带气 $C_1/C_{1-5} \leq 0.55$ 、生物改造或复合源过渡带气 $C_1/C_{1-5} = 0.6 \sim 0.95$ ，表明了过渡带气的复杂性。

生物热催化过渡带气经过徐永昌等的长期研究，对这一成因类型的天然气的特征及成因有了初步的认识，开拓了该天然气领域在我国的勘探前景。由于它所处的生物化学作用与有机质热演化作用过渡的特殊地质环境，与生物气及油型气、煤成气的区别、判别准则等问题尚待进一步研究。

3. 天然气成因类型及判识参数的研究

对各类天然气判识自“六五”以来开展了下列的研究工作：

- (1) 判识有机成因气与无机成因气；
- (2) 判识腐泥型气与腐殖型气；
- (3) 判识天然气成熟度；
- (4) 确定其母质的沉积环境。

4. 天然气成因分类及天然气的“多源复合、主源定型、多阶连续、主阶定名”

1) 天然气成因分类

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，“八五”期间在综合前人成果的基础上，戴金星、徐永昌等提出了天然气成因类型的综合分类（表1）。这一分类方案目前已被我国广大天然气地质工作者所接受。

表 1 天然气成因类型综合分类表（戴金星，1997）

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						
有机成因气	母质类型	成熟度 成因类型	未熟阶段	未熟—低熟阶段	成熟阶段		过熟阶段
			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	油型热解气
	II B—III	煤成气	煤型生物气	煤型过渡带气	原油伴生气	凝析油气	煤型热解气（常伴生凝析油）
混合成因气	异岩两源混合气，同岩两源混合气						

2) 天然气的“多源复合、主源定型、多阶连续、主阶定名”

我国的多数沉积盆地具有多旋回的发育历史，不同类型的沉积盆地在纵向上叠合，不同沉积体系的横向变化，它们在发育演化过程中又经历了多期改造，复杂的地质经历将不同成因类型的天然气以不同比例混合起来，增加了人们对天然气成因类型判识的难度。为了突出

主要成因类型，抓住主要成因类型研究天然气，徐永昌等提出了天然气的“多源复合、主源定型、多阶连续、主阶定名”的原则，进一步表明了在我国地质条件下，各类成因不同演化阶段形成天然气的混源现象，已成为制约人们深入研究天然气地质特征的关键因素之一。

四、“盆、热、烃”理论进一步阐述了天然气生成复杂地质过程中的关键性地质因素

“没有盆地就没有石油”法国地质学家 Perrodin (1983) 的一句名言已被我国油气地质学家接受和应用。它表明了天然气形成的诸因素中，盆地是最基本的因素。研究天然气，首先要从分析盆地入手。

研究盆地就是要研究盆地中的含气条件及其演化历程。天然气形成有三大因素：物质因素、热演化机制及盆地的动力机制。其中：

(1) 物质因素是天然气生成的物质基础。

(2) 热演化机制是控制有机质演化速率及天然气生成的最关键因素。在地温梯度较小的盆地（如塔里木、四川、鄂尔多斯盆地），较地温梯度较大的盆地（如松辽、渤海湾、东海、莺一琼盆地），沉积岩中有机质的演化速度慢得多，达到同一演化程度的受热时间较长，所对应的埋深明显加大。因此，地热场与烃类的关系可归结为：含油气盆地的形成、演化与地热场有密切关系；地热场参与了有机质热演化生烃的全过程；引起烃类相态变化和烃类运移，制约油气的分布；对有机质演化的速度有直接影响，也控制了沉积物成岩作用的进程，对流体势能的变化，对油气的成藏过程也有不可忽视的影响。

(3) 盆地的动力学机制表明了天然气聚集与散失动态历程的综合结果。表明了盆地各种动力作用制约着天然气的聚集与保存，一个盆地天然气的成藏机制与盆地地质动力所导致的地质事件紧密相连。

为此我们用盆地、热机制、成烃（简称盆、热、烃）作为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；热机制是指盆地地热场的演化历史对天然气生成的作用；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）。

表 2 盆、热、烃演化示意图（王庭斌，1999）

热机制	→有机质演化←				构造动力机制			
低温环境 ($<60^{\circ}\text{C}$)	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°C)	成熟阶段 $R_o=1.3\%$	热降解作用	油窗	油气藏	高一中孔渗	常压		高
高温环境 (400°C)	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	高一超高压		$<6\text{ km}$ 中保存
超高温环境 ($>600^{\circ}\text{C}$)	烃气分解消失阶段			裂缝	超高压	$<15\text{ km}$ 低保存		

在正常情况下，这三种因素密切相关，同步进行。因为随着盆地的持续沉降，地温必然会相应地增高，沉积岩内有机质成熟演化的条件就会逐步增高，天然气的成藏条件逐步具备。从另一个角度讲，由于盆地动力体制决定了沉降的速率，决定了盆地热体制及地温场的冷热，从而决定了有机质的演化速率。有的盆地以气为主，有的盆地以油为主。在一个盆地中天然气与油的分异现象更为普遍，在某些层位，某些构造单元是以气为主；某些层位，某