

“七五”国家重点科技
攻关项目成果报告
专题编号:75-54-01-06

我国已知油气区天然气藏类型、 形成条件、富集规律及勘探规划研究

北京石油勘探开发科学研究院 编

一九九二年六月



登录号	086132
分类号	P618.130.2
卷次号	085

“七五”国家重点科技攻关项目 专题研究报告

课题名称: 天然气(含煤成气)资源评价及勘探测试技术研究

专题名称: 我国已知油气区天然气藏类型、形成条件、富集规律及勘探规划研究

合同编号: 75-54-01-05

课题负责单位: 地质矿产部

中国石油天然气总公司

中国科学院

专题负责单位: 北京石油勘探开发科学研究院

参加单位: 大庆石油管理局、吉林省油田管理局、四川石油管理局、

青海石油管理局、新疆石油管理局、玉门石油管理局、

滇黔桂石油管理局、石油勘探开发科学研究院万庄分院、

石油大学北京研究生部、西南石油学院、大庆石油学院、

江汉石油学院

专题负责人: 戴金星 戚厚发

报告编写人: 戴金星、戚厚发、程克明、郝石生、孔志平、王铁冠、王廷栋、

张厚福、张万选、李一平、文亨苑、周翥虹、范光华、王秀伟、

范砚荣、王善书、罗永模、王志平、宋 岩、关德师、董志广、

洪 峰

专题主要研究人员(以姓氏笔划为序):

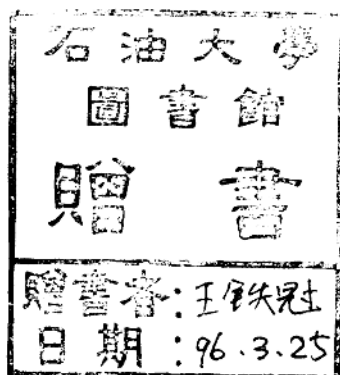
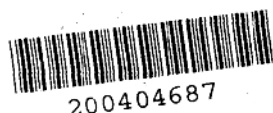
王铁冠、王廷栋、文亨苑、孔志平、关德师、李一平、宋 岩、

张文正、张万选、张仲武、张厚福、张亮成、杨家琦、范光华、

范砚荣、周翥虹、郝石生、高瑞祺、郭彦如、程克明、戚厚发、

韩广玲、戴金星

起止时间: 1986年—1990年6月



“七五”国家重点科技攻关 项目第 54 项层次关系

项目名称: 油气田的地质理论和勘探技术研究

编 号: 75—54

课题名称: 天然气(含煤成气)资源评价与勘探测试技术研究

编 号: 75—54—01

专题名称: 我国已知油气区天然气藏类型、形成条件、富集规律及勘探规划研究

编 号: 75—54—01—05

项目领导小组：刘光鼎 王福庆 翟冠军 张 荷 石宝珩
张 荫 何渊清 杨 生 胡龙孙
项目主管人员：刘光鼎 王福庆 翟冠军 张 荷
课题主管人员：张 荷 翟冠军
课题办公室主任及成员：王开宇

目 录

第一章 绪论	1
第二章 天然气和凝析油的成因分类及天然气地球化学特征	6
第1节 天然气和凝析油的成因分类	6
第2节 天然气的组分特征	9
第3节 我国天然气主要组分的同位素组成	20
第4节 各类天然气的鉴别	36
第三章 气源岩的地球化学及演化特征	46
第1节 源岩展布及成烃母质丰度	46
第2节 天然气源岩的组成特征与类型	52
第3节 源岩的演化及成烃模式	62
第4节 气源对比研究	74
第5节 各类源岩的生烃潜力	79
第四章 天然气的运移与聚集	84
第1节 天然气溶解度与扩散系数的测定	84
第2节 冀中地区(廊固、坝县凹陷)天然气运聚作用研究	94
第3节 天然气运移聚集机理与成藏机制的初步研究	99
第五章 天然气藏类型及形成条件	103
第1节 我国天然气藏基本特征	103
第2节 气藏类型	104
第3节 典型气藏分析	110
第4节 我国大中型天然气藏形成基本地质条件	134
第六章 我国主要含油气盆地聚集区、带及寻找大中型气田有利方向	141
第1节 四川盆地	142
第2节 鄂尔多斯盆地	158
第3节 柴达木盆地	164
第4节 塔里木盆地	167
第5节 准噶尔盆地	175
第6节 东海大陆架盆地带	183
第7节 南海北部大陆架盆地带	191
第8节 松辽盆地	198
第9节 渤海湾盆地	205
第七章 天然气发展规划及建议	211
第1节 我国天然气资源基础及勘探程度分析	211
第2节 天然气勘探规划原则、目标及方案	215
第3节 天然气勘探部署建议	219
参考文献	224

第一章 绪 论

“我国已知油气区天然气藏类型、形成条件、富集规律及勘探规划的研究”专题(75-54-01-05),是“七五”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”的一个子课题,它是与天然气生产及勘探紧密联系、对我国天然气工业发展具有重要意义的应用理论研究专题。根据1986年6月专项合同,主要研究内容:1.天然气和气源岩地球化学特征及天然气、凝析油成因类型、烃源对比研究;2.天然气运移、聚集及成藏机制研究;3.我国已知油气区天然气藏类型、形成条件及富集规律研究;4.我国已知油气区大气田形成条件及勘探方向研究;5.我国已知油气区天然气勘探规划研究。为了确保此五项研究任务的顺利完成,本专题设置16个四级题目,后因种种客观原因,报请54-01负责部门同意撤消或推迟两个四级题目(表1-1)。14个四级题目均按设计要求在1989年完成任务,并于1989年12月由中国石油天然气总公司科技发展部组织进行评审,除1个题目外全部成果获优秀或良好评价。在以上14个四级题目研究的基础上,根据专项合同要求的五项主要研究内容,完成了本报告编写工作。报告中第二、三章是归总完成第1项研究的主要内容;第四章为阐述完成第2项研究的前两部分的主要内容;第五、六章为论说完成第3、4项及第2项后一部分研究的主要内容;第七章是完成第5项研究的主要内容的总结。总之,本专题是按专项合同上要求的主要内容,圆满地完成任务。

报告在深入剖析四川、柴达木、鄂尔多斯、渤海湾、松辽、准噶尔、塔里木、琼东南、东海、珠江口、三水、苏北、二连、北部湾等我国主要含油气盆地,历年的、特别是最新发现的51个气田92个气藏的类型、形成条件和富集规律;又据8个题目不完全统计:对1674个气样、267个油样、3196个岩样,22个源岩热压模拟样,采用先进的仪器进行了25个项目分析,获得258437个以上分析数据;并对大量地震和测井资料进行综合解释研究,进行1万机时以上计算机计算处理以及野外地质调查等大量丰富的第一性资料基础上,同时参考了世界含气盆地天然气富集规律成果,经综合研究编写成本报告。在此特别要指出的:由于“我国已知油气区”,除本专题下属四级题目的地区外,还包括54-01-08、54-01-10和54-01-14三个专题及其下属四级题目的地区,故本报告编写还利用综合了由北京石油勘探开发科学研究院分院牵头的54-01-08专题、长庆油田负责的54-01-10专题和中国海洋石油总公司南海西部公司牵头的54-01-14专题及其下属四级题目有关成果,在此我们深表感谢。

报告阐述的主要成果:

1.对我国主要的含油气盆地逐个进行分析,在系统论述和综合研究天然气基本地质特征基础上,在我国首次以气聚集区和气聚集带为纲,总结了不同盆地天然气的分布规律及聚集控制因素,指出了大陆架盆地、中部克拉通盆地和西部盆地是我国勘探大中型气田有利地区,为今后天然气勘探部署提供了科学依据。

表 1-1 54-01-05 专题下属四级题目名称、负责单位和成果评审级别一览表

题目编号	四级题目名称	负责单位	评审级别
54-01-05-01	我国天然气藏类型、富集规律及勘探规划研究	北京石油勘探开发科学研究院及其分院 石油大学北京研究生部	优秀
54-01-05-02	烃源岩的地球化学及演化特征	北京石油勘探开发科学研究院 江汉石油学院	优秀
54-01-05-03	我国天然气地球化学特征及成因类型	北京石油勘探开发科学研究院 石油大学北京研究生部	优秀
54-01-05-04	天然气运移与封闭条件研究	石油大学北京研究生部	优秀
54-01-05-05	烃源岩成烃过程热压模拟实验研究	北京石油勘探开发科学研究院 长庆石油勘探局 大庆石油学院	优秀
54-01-05-06	我国典型凝析气藏形成机制及分布特征	西南石油学院	优秀
54-01-05-07	我国主要含煤盆地大地构造特征及其对煤层气的控制作用	南京大学	因故推期
54-01-05-08	世界主要含气盆地特征及天然气富集研究	北京石油勘探开发科学研究院	良好
54-01-05-09	松辽盆地北部和海拉尔盆地不同成因类型天然气地化特征和早期资源评价	大庆石油管理局 大庆石油学院	优秀
54-01-05-10	松辽盆地南部天然气地化特征及勘探方向	吉林石油管理局	良好
54-01-05-11	四川盆地海相碳酸盐岩气藏类型及评价研究等	四川石油管理局	优秀
54-01-05-12	吐鲁番—哈密盆地吐鲁番坳陷天然气远景及勘探方向	玉门石油管理局勘探开发研究院	通过
54-01-05-13	柴达木盆地东部生物气的形成条件及资源评价	青海石油管理局	优秀
54-01-05-14	塔里木盆地煤成气和油型气地球化学特征及形成大气田地质条件研究	新疆石油管理局	因故撤消
54-01-05-15	准噶尔盆地天然气形成地质条件及资源预测	新疆石油管理局	优秀
54-01-05-16	楚雄盆地上三叠统煤成气(天然气)及地质特征研究	滇黔桂石油勘探局石油地质科学研究所	良好

2. 从我国天然气地质条件出发, 用圈闭形态及成因、储集层特征、油气性质等多因素综合分类法, 对我国已知气藏进行了系统分类, 同时对我国 16 个中型气田和 20 多个有代表性典型气田进行了深入全面的解剖, 总结出控制天然气藏形成和富集的八项基本地质因素, 研究了我国大中型气田形成的主要条件, 为具体部署寻找气田, 特别是大中型气田提供了依据。

3. 在新获得大量天然气和凝析油地球化学资料基础上, 结合我国天然气地质特征, 对天然气和凝析油各自进行成因分类。天然气分为有机气、无机气和混合气三大类, 强调混合气存在的普遍性, 除人们通常理解的异岩(地)两源混合气外, 我们发现同岩(地)两源混合气。凝析油按成因分为六类。

4. 充分利用 1674 个气样分析取得的大量碳、氢、氧、氮、氦同位素资料, 总结了这些同位素的各自特征, 同时结合气组分、轻烃等成果, 并参考了国内外大量有关文献, 综合研究提出一整套(四类, 22 个指标)鉴别各类成因天然气的方法、图版和方程式, 是个创新, 使鉴别天然气可靠性和准确度大大提高, 在生产实践中有广泛实用性和很大的意义, 丰富和发展了天然气鉴别理论。

5. 采用先进的测试技术分析了大量样品, 取得大量数据, 同时收集了大量资料, 在此基础上系统地研究了我国 38 个主要烃盆 99 个层系的有机质丰度、类型和生烃潜力, 提出了可获得工业油气流下限; 在烃源岩宏观研究上, 把有机地化和有机岩石学相结合; 创造性地提出了生物标志物定量组合判别生源构成、桥梁气源对比法和三种煤相等, 并发展了显微荧光研究技术, 深入研究了褐煤和树脂体成凝析气油问题, 同时指出了其在我国的良好前景。这些在理论上和生产中均有重要意义。

6. 通过对三大岩类(碎屑岩、碳酸盐岩、可燃有机岩) 13 个源岩样品八个温阶系统的热压模拟实验, 全面地分析和综合了各类有机质的成烃机制及热演化规律, 获得了三大岩类系列的油、气产率, 为盆地模拟及资源评价提供了重要参数, 同时丰富了油气生成理论。

7. 利用自己研制的仪器, 系统测定了水溶气系数和天然气扩散系数; 运用动平衡的观点, 以腐凹凹陷为例, 计算了天然气的生成量、水溶量、油溶量、吸附量和扩散散失量, 研究了该区的天然气的运移相态和聚集量, 并进行了天然气运聚的二维二相数字模拟。

8. 系统总结了我国天然气的勘探现状和“七五”以来的主要勘探新成果。对我国天然气资源基础、天然气勘探的经济效益、天然气勘探的经济地理条件及天然气储采比等几个影响发展规划的基本因素进行了分析。根据我国天然气的实际发展趋势, 即考虑国民经济发展的需求, 提出了低、高两个供决策部门考虑的规划方案, 并分近期拿储量(“八五”)和长期大发展两个层次, 对全国天然气的勘探工作提出了具体部署意见, 可供我国天然气工业近、长期发展规划参考。

本专题科技攻关 4 年来(1986—1989)取得十分明显的直接的和间接的经济社会效益:

1. “七五”头四年, 即 1986 年至 1989 年天然气新增探明储量从 $350 \times 10^8 \text{ m}^3$ 提高到 $469.43 \times 10^8 \text{ m}^3$, 每年都是递增的, 年增长率为 4.4—15.4%, 平均年新增探明储量 $408 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。“六五”期间天然气新增探明储量年平均为 $263.5 \times 10^8 \text{ m}^3$, 由此可见, “七五”头四年比“六五”期间年平均新增探明天然气储量提高了 54.8%, 成为我国天然气储量增加最快的时期, 为我国天然气工业更快发展打下了基础。而 1986 年至 1989 年石油新增探明储量从 $5.2362 \times 10^8 \text{ t}$ 下降为 $4.8979 \times 10^8 \text{ t}$, 平均年石油新增探明储量 $5.3972 \times 10^8 \text{ t}$ 。“六五”期间石油

新增探明储量年平均为 $6.0214 \times 10^8 \text{t}$ ，由此可见，“七五”头四年比“六五”期间年平均新增探明石油储量下降了 10.4%。值得指出在“六五”和“七五”期间石油比天然气投资大约大 9 倍，由此可见，如果考虑到天然气的采收率比石油高得多，“七五”期间天然气新增探明储量的经济效益是十分突出的。

2. “七五”头四年发现中型气田的速度空前加快，一个国家发现大、中型气田越多，天然气工业发展就快。我国目前还没有发现储量大于 $1000 \times 10^8 \text{m}^3$ 的大型气田，但至 1989 年底已发现探明储量 $100 \times 10^8 \text{m}^3$ — $1000 \times 10^8 \text{m}^3$ 之间的中型气田（藏）16 个（表 1-2），其中 6 个（磨溪、双家坝、锦州 20-2、汪家屯、台南和神狐 9-2）是 1986—1989 年发现，总计探明储量约 $1000 \times 10^8 \text{m}^3$ ，平均一年发现一个半中型气田，发现中型气田速度为“六五”期间年平均数的 2.5 倍、解放后年平均数的约 5.5 倍。

表 1-2 我国历年发现中型气田一览表

盆地	气田或气藏	发现年代	探明储量 10^8m^3	盆地	气田或气藏	发现年代	探明储量 10^8m^3
四川	威远气田	1965	400	渤海湾	兴隆台气藏	1969	170
	卧龙河气田	1959	370.28		锦州 20-2 气田	1987	135
	磨溪气田	1987	254	松辽	汪家屯气田	1988	117
	中坝气田	1972	186	塔里木	柯克亚气田	1977	233
	双家坝气田	1989	101.7	柴达木	台南气田	1989	198.51
渤海湾	文留气藏	1976	149	琼东南	崖 13-1 气田	1983	约 850
	板桥气田	1974	145	东海	平湖气田	1983	170
	苏桥气田	1983	129	珠江口	神狐 9-2 气田	1988	约 200

3. “七五”头四年，即 1986 年至 1989 年天然气的年产量从 $133.85 \times 10^8 \text{m}^3$ 提高到 $144.9 \times 10^8 \text{m}^3$ ，是逐年递增的，年增长率为 1.13—4.21%，平均年产气为 $138.28 \times 10^8 \text{m}^3$ ，而“六五”期间平均年产气量为 $123.86 \times 10^8 \text{m}^3$ ，“七五”头四年天然气平均年产量比“六五”的增长 11.64%。

4. 气聚集区和气聚集带的划分及其特征的总结；提出控制天然气藏形成和富集的八项基本地质因素；指出我国三个盆地带是勘探大中型气田有利地区，为今后制定天然气勘探部署和寻找大中型气田提供了科学依据。

5. 三大岩类 13 个源岩热压模拟实验获得三大岩类系列的气、油产率参数，为我国下一轮油气资源评价和盆地模拟准备好了一整套系统的、全面的参数。

6. 一整套鉴别各类成因天然气的方法、图版、方程式和桥梁气源对比法，为确定气源，进行天然气运移、聚集研究，提供了有效手段和途径，在生产实践中有广泛实用性和很大意义。

7. 提出低、高两个天然气勘探规划方案，有科学依据，符合我国国情，可供决策部门制定发展我国天然气工业近、长期规划的参考。

本报告是 54-01-05 专题下属 14 个四级题目广大参加者四年多来在天然气生产实践和研究相结合科技攻关的集体成果，是广大攻关者为快速发展我国天然气工业艰辛劳动的共同结晶。报告最后汇总和编写分工是：第一章戴金星编写，第二章由戴金星、张厚福、王廷栋、宋岩、洪峰完成，第三章是程克明、王铁冠、关德师撰写，第四章为郝石生、高跃斌合写，第五章由戚厚发、张万选、李一平合撰，第六章由李一平、王善书、吴铁生、傅琐堂、范光华、周翥虹、文亨范、王秀伟、王志平、范砚荣、罗永模、宋岩、关德师参加初稿编写，最后由戚厚发、戴金星整理成章，第七章为孔志平、董志广完成。报告最后由戴金星、戚厚发统编。

特别值得指出，报告中第二至六章原来篇幅比现在大得多。但根据 54-01 办公室关于报告文字限制在 12—13 万字左右文件的通知，为执行文件精神，对第二至六章作了大量压缩，甚至整节删去，许多实际资料被删减。即使如此，文字（不包括插图和附表）还超出文件规定字数约 4.5 万字。

第二章 天然气和凝析油的成因分类

及天然气地球化学特征

第 1 节 天然气和凝析油的成因分类

一、天然气的成因分类

根据生成天然气的原始物质来源,可将其划分为无机成因气、有机成因气及混合成因气三大类(表 2-1):

表 2-1 天然气成因分类方案

无机成因气: 宇宙气、幔源气、岩浆岩气、变质岩气、无机盐类分解气						
有机成因气	母质类型 \ 成熟度	未熟阶段		成熟阶段		过熟阶段
		生物气	腐泥型生物气 (油型生物气)	热解气	原油伴生气	裂解气
			腐泥型生物气 (油型生物气)		凝析油伴生气	
			腐殖型生物气 (煤型生物气)		煤型(成) 热解气	腐殖型 裂解气
混合成因气: 大气、异(地)岩两源混合气、同(地)岩两源混合气						

1. 无机成因气

泛指在任何环境下由无机物质形成的天然气。包括宇宙气、幔源气、岩浆岩气、变质岩气及无机盐类分解气。

(1) 宇宙气: 系指在宇宙空间由放射性反应、核反应及化学反应等作用形成的天然气,以含 H_2 、 He 为特征,并有 CH 基、 CH_2 基等混杂。

(2) 幔源气: 又称深源气。系指在地幔或从地幔通过不同方式上升到沉积圈的天然气。包括与火山喷发有关的部分火山气、幔源气、部分温泉气,以及沿深大断裂或转换断层上升的高温气或低温气。在较高温度、较高氧逸度、较小压力下,热排出的幔源气是以 CO_2 和 H_2O 为主;相反,在较低温度、较低氧逸度、较大压力下,冷排出的幔源气则以 CH_4 和 H_2

为主。此外，尚可混有 SO_2 、 N_2 及稀有气体。

(3) 岩浆岩气：系指在岩浆中由高温化学作用形成的气体。包括岩浆岩、火山岩矿物包裹体气及大部分火山气。以含 CO_2 、 H_2 为主，混有 N_2 、 CH_4 、 H_2S 及稀有气体。

(4) 变质岩气：系指在变质岩中由高温化学变质作用形成的气体。富含 CO_2 、 N_2 、 H_2 ，并有 CH_4 、 H_2S 及稀有气体混杂。

(5) 无机盐类分解气：系指在沉积岩中由无机盐类化学分解产生的气体。如碳酸盐分解产生的 CO_2 、硫酸盐被还原产生的 H_2S 等等。

综上所述：无机成因气来源广泛、复杂，多与宇宙或地球深处地幔、岩浆活动有关。它们常沿大断裂或转换断层上升至沉积圈，或在与深大断裂有关的逆冲断层推复带圈闭中、或在不整合覆盖在结晶变质基底突起之上的沉积岩中，可聚集成工业气藏。随着科学技术的发展，发现这类天然气藏的概率将会日益增大。

2. 有机成因气

泛指在沉积岩中由分散状或集中状的有机质或有机可燃矿产形成的天然气。根据原始有机质的母质类型及热成熟度不同，又可细分为若干亚类（表 2-1）。

(1) 有机质母质类型与有机成因气分类

a. 腐泥型天然气：简称腐泥气或油型气。由 I、II₁ 型干酪根形成的气，通常称之为油型气。

b. 腐殖型天然气：简称腐殖气、煤型气或煤成气。由 II₂、III 型干酪根形成的气。这类天然气主要来自植物遗体，以陆源高等植物为主，低等植物占次要地位，常分布在含煤盆地及陆相含油气盆地中，因而人们常简称为煤型气或煤成气。

(2) 有机质热成熟度与有机成因气分类

有机质的热演化程度可以区分为未成熟、成熟（包括低成熟和高成熟）、过成熟等阶段，相应地可将有机成因气划分为下列亚类（表 2-1）：

a. 生物气：或称细菌气、生物化学气。系指有机质在未成熟阶段（ $R_o < 0.5\%$ ）经厌氧细菌进行生物化学降解的气态产物。其化学成分是以高甲烷含量及甲烷低碳同位素值为特征。一般甲烷含量 $> 97\%$ ，重烃气常小于 0.5% ，干燥系数（ C_1/C_{2+} ）在数百以上，为典型干气；一般甲烷碳同位素 $\delta^{13}\text{C}_1$ 为 $-55 \sim -100\text{‰}$ 。

b. 热解气：系指有机质在成熟阶段（ $R_o = 0.5 \sim 2.0\%$ ）经热催化作用降解而成的天然气。由于有机质母质类型不同，形成热解气的性质也就有别，所以根据有机质母质类型可将热解气分为两种：

(a) 油型热解气：系指 I 和 II₁ 型干酪根在成熟阶段形成的天然气。众所周知，这两类干酪根属腐泥型范畴，富氢，在成熟阶段多以成油（包括凝析油）为主、成气为辅，故油型热解气在大多数情况下均以“配角”伴生于原油中，只在少数情况下呈游离的气顶气，个别情况下可呈夹层的游离气层气。

根据成熟阶段的热成熟度不同，可将低、中成熟阶段形成的气，称为原油伴生气；在高成熟阶段形成的气称凝析油伴生气。这两种气的共同特征是重烃气含量高，一般超过 5% ，凝析油伴生气中重烃气含量可达 $20 \sim 25\%$ ，原油伴生气中高者可达 $40 \sim 50\%$ ，甚至超过甲烷含量。

(b) 煤型（成）热解气：系指 II₂ 和 III 型干酪根在成熟阶段形成的天然气。这一类干酪

根在成熟阶段多以成气为主、成油为辅，故煤型热解气以游离的气层气为主。

与油型热解气相比，煤型热解气的重烃气含量相对干些，但一般在3%以上，多数在5%以上。过去有人认为煤型热解气均为干气是不符合客观实际的。煤型热解气中的烷烃气比油型热解气富含重碳同位素，煤型热解气的 $\delta^{13}\text{C}_1$ 值一般为-42~-28‰，多数大于-35‰。

(c) 裂解气：系指在过成熟阶段($R_o > 2\%$)已生成的液态烃和残余干酪根经高温裂解作用而成的天然气。按原始物质不同可区分为腐泥型裂解气(或油型裂解气)与腐殖型裂解气(或煤型裂解气)。

裂解气的化学组成以甲烷为主，重烃气含量极少(小于2%)；甲烷碳同位素值偏重，腐泥型裂解气约介于-40~-31‰，腐殖型裂解气约为-35~-20‰。

3. 混合成因气

系指在成因上既无机来源又有有机来源混杂在一起的天然气。大气是典型的混合成因气，地球的大气圈是由生物作用、化学作用、放射性作用等生成的气体混合物组成，兼具有机与无机来源。

在地壳沉积圈发现的混合成因气多为异岩(地)两源混合气。例如在上地幔形成的无机气向上运移至沉积层中与有机气混杂形成的混合气，大气是属异地两源混合气范畴内。

近年来，在源岩成气模拟试验和天然产状的天然气中，我们发现了同岩(地)两源混合气，并具有相当的普遍性。源岩成气模拟试验证明：碳酸盐岩、泥灰岩及含钙泥岩在试验中普遍形成有机的烷烃气和无机的二氧化碳的同岩两源混合气(表2-2)。烷烃气具 $\delta^{13}\text{C}_1 < \delta^{13}\text{C}_2 < \delta^{13}\text{C}_3 < \delta^{13}\text{C}_4$ 等正碳同位素系列，是有机气特征；二氧化碳的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2} > -8\%$ ，属无机成因特征(详见后述)。在自然界这种同岩两源混合气也不乏其例，如鄂尔多斯盆地1井天然气 $\delta^{13}\text{C}_1$ -31.93‰、 $\delta^{13}\text{C}_2$ -28.21‰、 $\delta^{13}\text{C}_3$ -27.22‰，具正碳同位素系列有机烷烃气特征，而 $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ 为-6.39‰，显然属无机成因特征，这两种气主要来源于下古生界源岩。今后在天然气勘探中值得注意。

表2-2 源岩热模拟成气试验形成的同岩两源混合气

试样地点或 井号	岩性	地层	试验温度 (℃)	气的主要组分(%)						$\delta^{13}\text{C}$ PDB(‰)				
				N_2	CO_2	CH_4	C_2H_6	C_3H_8	C_4H_{10}	$\delta^{13}\text{C}_1$	$\delta^{13}\text{C}_2$	$\delta^{13}\text{C}_3$	$\delta^{13}\text{C}_4$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$
环 14 井	泥灰岩	平凉组	330	0.69	64.87	13.80	3.71	2.55	1.62	-44.23	-33.67	/	-35.40	-2.51
			400	1.31	61.46	24.39	4.26	3.08	0.75	-38.41	-29.21	-29.89	-25.86	/
			430	1.02	62.90	24.39	4.02	1.36	0.15	-37.76	-25.61	-24.89	/	-2.42
			500	0.65	70.33	19.92	3.01	0.96	0.07	-36.61	-22.17	/	/	-0.77
			530	0.15	80.76	12.57	0.37			-34.06	-14.35	/	/	-0.23
巴 4 井	石灰岩		400	0.00	37.70	32.43	10.03	4.56	3.28	-35.41	-28.02	-25.92	-26.05	3.65
			450	0.45	47.56	39.60	6.68	1.70	0.20	-30.03	-25.66	-21.82		
			500	0.52	70.89	22.52	2.02	0.00	0.00	-28.85				4.63
			550	0.15	81.31	13.73	0.21	0.00	0.00	-28.44				6.05
			570	0.07	83.49	9.57	0.00	0.00	0.00	-20.26				6.44

混合成因气在国内外研究都很薄弱，许多问题有待进一步研究。

二、凝析油的成因分类

根据母质类型的来源把凝析油分成四类：1. 腐殖（煤成或煤型）型凝析油、2. 腐泥型（油型）凝析油、3. 混合母质型凝析油、4. 混源凝析油。各类又可按成熟度不同又可分为若干亚类。

腐殖型凝析油可以分为未成熟、成熟和高成熟腐殖型凝析油三个亚类。典型未成熟腐殖型凝析油在我国至今未发现。成熟与高成熟的凝析油系指源岩 R_o 分别为 0.5~1.2% 和 1.2~2.0% 形成者。成熟腐殖型凝析油如苏桥、文安地区石炭二叠系和奥陶系的凝析油，琼东南崖 13-1 和东海平湖第三系的凝析油大体都属于这一类型。高成熟腐殖型凝析油产量极低，多产干气藏中。这类凝析油如中原文 23 块沙河街组四段的凝析油、四川西北部老关庙、文兴场等构造的须家河组凝析油。

典型的成熟腐泥型凝析油在我国少见，发现在气顶型凝析气藏中的八角场大安寨组一段的大部分井的凝析油大体可归为这一类，虽然已查明有少量煤成油气的混入；高成熟的腐泥型凝析油多发现在我国的海相沉积地层中，如四川中坝雷口坡组一段的凝析油、川南嘉陵江组一些气藏的凝析油、新疆柯克亚第三系的凝析油基本上也是来自海相的石炭二叠系。

混合母质型凝析油在我国常见，例如：板桥、辽河、南海神狐 9-2 以及中原濮城、文南、古云集等地一些第三系凝析油均属此列，且基本上是属于成熟的。高成熟的混合母质凝析油我国罕见。

混源凝析油是来自不同层系成熟度和（或）母质类型差别较大的源岩。我国这类凝析油也很常见，如四川中坝雷口坡组第三段的凝析油、中原白庙的凝析油、四川八角场大安寨组第三段的凝析油都属此类。应该指出，在某些混源凝析气藏中，凝析油常常主要来源于某一源岩，另外的源岩可能对它的贡献不多，例如，川南嘉陵江组的一些气藏，凝析油是来自嘉陵江组本身，但气却混入大量成熟的二叠系干气，干气对油的贡献是很少的。

总之，根据我国现已发现的凝析油气藏，在以母质类型和成熟度为分类原则基础上，可将凝析油具体分为六种成因类型：1. 成熟的腐殖型凝析油；2. 高成熟的腐殖型凝析油；3. 成熟的腐泥型凝析油；4. 高成熟的腐泥型凝析油；5. 成熟的混合母质型凝析油；6. 高成熟混源型凝析油。

第 2 节 天然气的组分特征

一、天然气常规组分特征

沉积圈中的天然气组分为烃类气体和非烃气体，烃类气体主要指甲烷和 C_{2-5} 重烃气，其中以甲烷为主；非烃气体常见有 CO_2 、 N_2 、 H_2S 、 H_2 和微量稀有气体。

根据我国主要含油气盆地气藏和油气藏中的天然气、二十多个煤矿中的瓦斯气以及地表（热）泉中的一些无机成因气，总共 1000 多个样品的气组分分析数据，绘制了我国天然气组分频率分布图，从图中可清楚看出我国天然气组分的分布特点。

1. 烃类组分特征

我国天然气组分以烃类气为主（图 2-1），烃类含量 > 95% 的样品占总样品的 55% 以上，烷烃气中各组分的分布有如下特点：

(1) 在烷烃气中又以甲烷为主要组分, 甲烷含量高峰分布在 85—100% 之间 (图 2-2), 这是由于在有机质的整个成气过程中, 都是以产甲烷为主。

(2) 在烷烃气中重烃气 (C_{2-5}) 含量较甲烷低得多, 其含量高峰值分布在 0~2% 之间 (图 2-1), 并且含量越高, 样品数越少, 重烃含量一般不超过 50%。

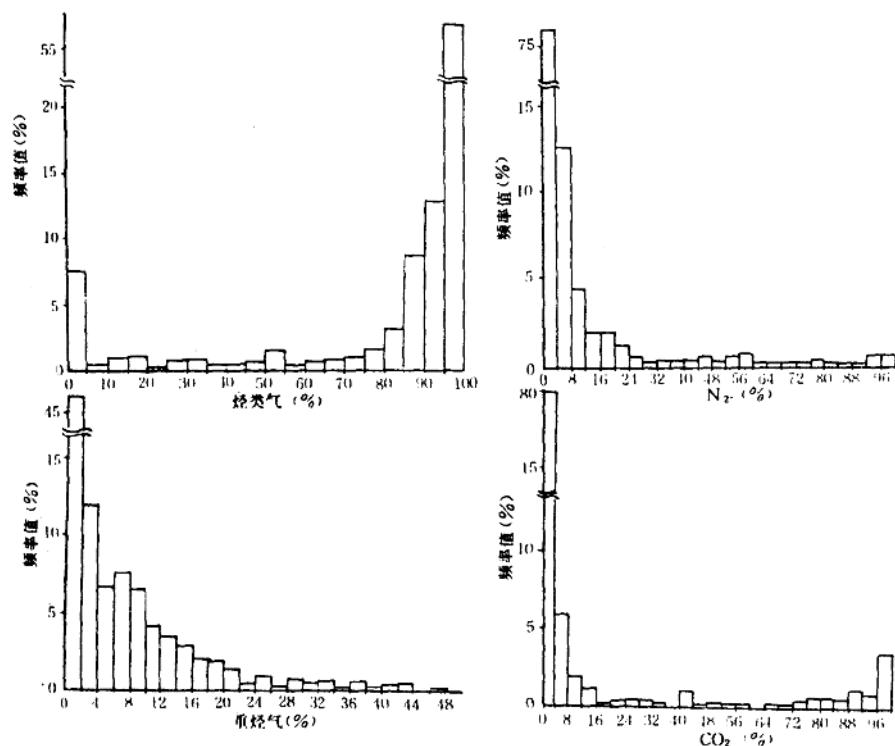


图 2-1 我国天然气组分含量频率分布图

2. 氮气组分特征

从我国天然气 N_2 含量频率分布图 (图 2-1) 中看出, 样品集中分布在 N_2 含量 < 4% 的区间内, 频率值为 76%, 尽管从含量为 0~100%, 基本上都有样品分布, 但绝大多数样品 (约占 90%) N_2 含量小于 8%。

天然气藏中氮气的成因一般认为有以下几种:

(1) 有机成因氮气。这是气藏中氮的主要来源, 即在岩石分散有机质的氮化物或石油氮化物的生物化学改造过程中生成的, 在岩石分散有机质的热催化改造过程中也有氮生成。在有机质氮化物含量高的地层或适应 N_2 气形成的条件下, 气藏的氮含量较高。我国氮含量较高的有机成因天然气在冀中坳陷、济阳坳陷、鄂尔多斯盆地、松辽盆地及海拉尔盆地都有发现 (表 2-3)。

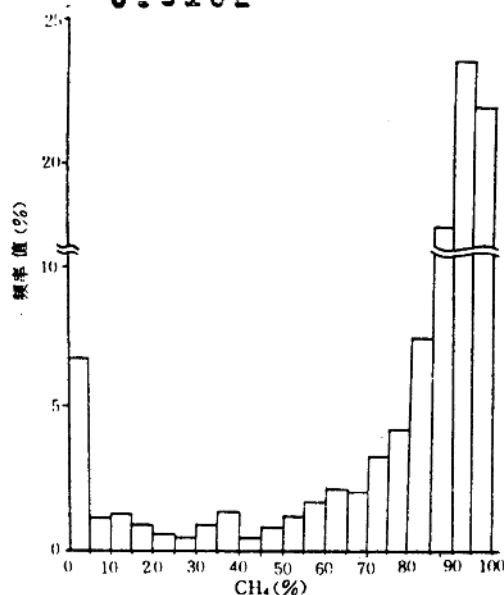


图 2-2 我国天然气 CH₄ 含量频率分布图

(2) 大气成因氮气。大气中的氮被地表水带入地下，然后从饱含空气的水中析出进入气藏或储集层。在我国也发现高含量的大气成因氮气，应维华根据 δD_{H_2O} 值判断湘西北桑植—石门复向斜温泉水中的 N₂ 气主要是大气降水带入的，氮含量可高达 94.8%；此外，对我国二十多个煤矿气样分析表明，煤矿中的天然气 N₂ 含量普遍较高，一般都大于 10%，高的可达 90% 以上（表 2-3），А. И. Кравцов 等认为煤田里的天然气的 N₂ 基本都是大气成因的，由于煤田中的煤层埋深较浅，在气水交换活动带，大气中的氧和氮同时被地下水带入煤层，而后，氧与其它物质发生氧化作用而消耗掉，氮则赋存在煤层中，致使煤层中天然气氮含量提高。

(3) 岩浆成因氮气，即在火山活动期或其后，地下岩浆或与其活动有关析出的氮气。在我国尚未发现岩浆成因高含氮气藏，只在某些地方的（热）泉中发现此类成因的氮气泡，如海南岛兴隆农场、云南腾冲县等（表 2-3）。

3. CO₂ 组分特征

从 CO₂ 含量频率分布图中（图 2-1）看出，CO₂ 含量较 N₂ 更低，分布相对更集中，75% 的样品 CO₂ 含量 < 2%，但也有少部分样品含有较高 CO₂。

概括说来，CO₂ 的成因可分为有机成因和无机成因两大类：

(1) 有机成因。有机物（石油、煤、泥炭、动植物残骸）在细菌的作用下，遭受氧化分解生成大量二氧化碳；干酪根、特别是Ⅲ型干酪根的热降解和热裂解也可形成一定量的 CO₂。我国尚未发现含量较高的有机成因 CO₂，这并不是说明有机质演化过程中形成的 CO₂ 量少，模拟实验结果表明，在有机质的整个演化过程，都有大量 CO₂ 生成，特别是在早期演化阶段 CO₂ 生成量更大。但是，由于 CO₂ 在水中的溶解度较高（比甲烷大 34 倍），大量 CO₂ 溶解于水中或被水带走。

(2) 无机成因。无机成因 CO₂ 主要指碳酸盐化学成因和岩浆成因 CO₂ 及幔源 CO₂。碳

酸盐岩在高温作用下热分解、低温水解以及被地下水中的酸类溶解都可生成 CO_2 ，地下岩浆在上升过程中，随压力和温度的降低，可析出大量 CO_2 气体。目前我们发现的天然气中含量大于 50% 的 CO_2 基本都是无机成因的，其存在形式主要有两种：一是以气苗形式，出现在泉水或江河水中，此种类型的 CO_2 气已在云南腾冲、四川甘孜、黑龙江五大连池、广东平远县等地的（热）泉中发现， CO_2 含量都大于 95%，甚至可达 100%（表 2-4）；第二种存在形式是与有机成因的天然气混合聚集成藏，由于沉积地层中有机质的存在和生气作用，故无机成因 CO_2 在聚集成藏过程中，或多或少地都有有机成因烃类气混入，在松辽盆地万金塔构造、济阳凹陷滨南地区、苏北盆地黄桥地区以及黄骅坳陷、广东三水等地都发现无机成因的高含量的 CO_2 气藏（表 2-4）。

表 2-3 我国高含 N_2 天然气及其成因

地 区	井 号	层位	气 体 组 分(%)							成因类型
			N_2	CO_2	CH_4	C_2H_6	C_3^+	Ar	He	
鄂尔多斯	城 54 井	延安组	67.66	0.32	30.32	0.80	0.89			有机成因
松 辽	三深 1 井	J	63.40		34.56					
冀 中	坝 40 井	O	12.20	3.69	82.30	0.60	0.81			
济 阳	义 37-15	E ₂	17.67	4.86	44.96	13.81	18.20			
海 拉 尔	新乌 1 井	大磨拐河	64.26	2.58	32.74					大气成因
湘 西	茅 3 ² 井	s-Z ₂ dy	94.8	$\text{H}_2\text{S}+\text{CO}_2 0.5$	3.0				1.7	
煤 矿	阳泉五矿	5-24 孔	太原组	92.77	6.38	0.85				
	阜新东梁矿区	561 孔	沙三段	84.97	4.81	10.20				
云南腾冲县	罗汉冲	泉水中	99.35	0.65						无机成因
海南岛兴隆农场		泉水中	99.82	0.03	0.15					

4. H_2S 组分特征

H_2S 气体一般分布很局限。我国天然气中 H_2S 组分具有以下分布特点：

(1) 集中分布在碳酸盐岩或硫酸盐—碳酸盐岩储集层中。目前我国 H_2S 含量大于 1% 的天然气仅存在于四川盆地和渤海湾盆地碳酸盐—硫酸盐岩储集层中。我们统计了四川 636 个不同井不同层位的含硫天然气样品（同井同深度多次分析，取 H_2S 含量最高值）分析数据（图 2-3），其中只有 9 口井天然气产自碎屑岩中，并且 H_2S 含量均小于 1%，含量最高的是卧龙河气田卧浅 2 井香溪群天然气， H_2S 含量为 0.68%，这也是我国至今在碎屑岩中发现含 H_2S 最高的天然气。目前我国 H_2S 含量最高的气藏——赵兰庄孔一段气藏， H_2S 含量为 92%，发育在硫酸盐—碳酸盐型地层中。