

中国大陆相天然气成因类型及富集规律*

钱 凯 王明明 魏 伟

(石油勘探开发科学研究院廊坊分院, 河北廊坊 102801)

中国大陆相盆地天然气资源分布广泛, 在东、中、西部及东南海域都有大中型气田发现。天然气主要有生物成因、生物-热复合成因、偏腐泥型热(裂)解、偏腐殖型热(裂)解及生物降解5种类型。富气凹陷主要有持续深埋型、脉动深埋型、持续中埋型、先缓后速中埋型及持续浅埋型5种类型。富气凹陷内的断裂背斜构造带天然气富集程度最高, 多数是沿着古隆起或继承性构造成线状分布或围绕生烃洼陷成弧状展布。地温场强度高或煤系烃源层发育的中-深层及微生物生存条件好的中-浅层, 是陆相天然气富集的两个最有利领域。

关键词 中国 陆相盆地 天然气成因 富气凹陷 分布规律

第一作者简介 钱 凯 男 57岁 教授级高级工程师 沉积学与石油地质

中国大陆相天然气资源, 所属沉积盆地大体可以分为4类组合: 即东南海域大陆边缘断拗盆地组合; 东部陆内裂谷盆地组合; 中部克拉通拗陷盆地组合及西部复合叠加盆地组合。各类含气盆地内都有大或中型气田分布, 如大陆边缘断拗盆地组合的平湖气田; 陆内裂谷盆地组合的汪家屯、兴隆台、板桥气田; 克拉通拗陷盆地组合的中坝气田; 复合叠加盆地组合的牙哈、英买7、柯克亚、丘东、台南气田等。

1 天然气成因类型

天然气成因类型划分的方案较多^[1,2], 主要观点是以原始有机母质为基础(偏腐泥型、偏腐殖型), 以成气地质环境为条件(生物作用、热解作用、裂解作用)。笔者根据中国大陆相地层内已发现的工业性气藏(陆相生烃层系为气源岩)的天然气性质及成藏地质环境, 认为陆相天然气应归纳成5种类型(表1, 图1)。其中, 生物-热复合成因气是中国陆相地层具有重要意义的一种类型, 是“八五”国家重点攻关研究项目所重视的一种类型^{**}。由于陆相地层沉降速率大、烃源岩形成后的保存条件差, 因此, 在生物作用带内(一般0~55℃、小于1500m)的有效烃源岩发育条件差。但1500~3000m深度范围内, 却有利于有效烃源岩发育, 一方面, 该带内甲烷菌数量虽然少于浅部, 但热催化作用使菌解产气高峰期在较短时间内出现, 有利于天然气富集; 另一方面, 据我们对不同深度的泥岩进行细菌模拟培养试验, 发现随着深度的增加甲烷菌数量减少, 但对有机质有改造作用的纤维素分解菌和发酵性细菌数量仍很多, 在

* “八五”国家重点科技攻关项目(85-102-08-01)

** 钱凯, 王明明. 我国东部主要盆地天然气富集规律的综合研究(85-102-08-01). 1995

刘文汇. 生物-热催化过渡带气地球化学特征及判别标志(85-102-15-01). 1995

收稿日期: 1996-02-01 改回日期: 1996-06-03

表1 中国陆相天然气成因类型划分

成因类型	母质类型	主要成气机理及环境	天然气特征
生物成因气	I, I ₁ , II	微生物与有机质发生生化作用形成烃类气体, 低温、还原、低矿化度、开启性水动力环境, R_o 小于 0.6%	干气、含少量氮气及二氧化碳, $\delta^{13}C_1$ 小于 -60‰
生物-热复合成因气	I, II	有机质成气演化早期生物作用为主, 后期热催化作用为主, 较低温、低矿化度、正常压力系统为主的地质环境, R_o 为 0.4%~1.3%	凝析气及干气, 与凝析油共生, $\delta^{13}C_1$ 为 -36‰~-50‰
偏腐泥型热(裂)解气	I~I ₁	有机质处于热演化的高成熟与过成熟阶段, 地温梯度高的地质环境, R_o 大于 1.0%	凝析气为主, 湿气、干气为辅, 常以气顶气形式出现, $\delta^{13}C_1$ 为 -45‰~-55‰
偏腐殖型热(裂)解气	I ₂ ~II	有机质处于热演化成熟-过成熟阶段, 热作用时间长、地温梯度高的地质环境, R_o 大于 0.6%	凝析气和干气并存, 有时带有油环, $\delta^{13}C_1$ 为 -30‰~-45‰
生物降解气	I~II	构造运动使油气运移到浅层受微生物降解和氧化形成天然气, 低矿化度、低温、开启性水动力环境	干气, 含少量氮气和二氧化碳, 碳同位素略重于原始溶解气的碳同位素, 且出现 C_4 轻于 C_3 同位素的倒转现象

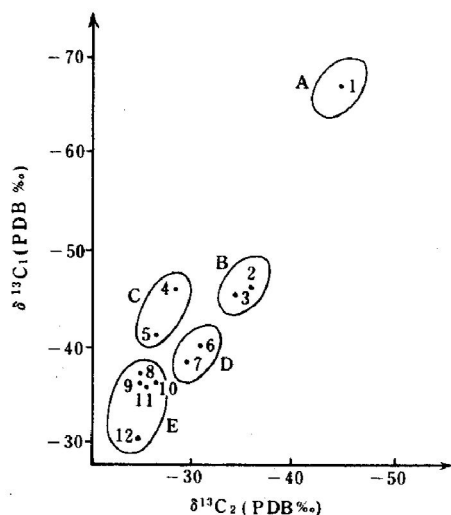


图1 中国陆相沉积盆地主要气田

天然气成因类型图

A—生物成因气; B—生物降解气; C—生物-热复合成因气; D—偏腐泥型热(裂)解气; E—偏腐殖型热(裂)解气; 1—柴达木盆地涩北气田(Q); 2—鄂尔多斯盆地直罗气田(T); 3—渤海湾盆地孤岛气田(N); 4—渤海湾盆地板桥气田(E); 5—吐哈盆地丘东气田(J); 6—渤海湾盆地双台子气田(E); 7—渤海湾盆地濮城气田(E); 8—四川盆地中坝气田(T₃); 9—塔里木盆地牙哈气田(N,E); 10—准噶尔盆地三台气田(J); 11—东海盆地平湖气田(E); 12—松辽盆地汪家屯气田(K)

2 700 m 处能达到每克泥岩样中培养出数万个细菌的丰度。据热解模拟实验, 经早期生物显著改造后的烃源岩在 R_o 为 1.0% 时即出现生气态烃的高峰期(图 2), 1 t 有机碳总增生气态烃量约为 50 m³ 且以重气态烃为主。所以, 生物改造作用能使烃源层在埋藏中等深度产生大量的凝析气, 该类成因的天然气较为丰富, 如渤海湾盆地、吐哈盆地等。

另外, 笔者未将热解成因气与裂解成因气分开, 一方面是由于中国陆相生烃层系时代较新, 且较少埋藏到高温裂解演化阶段, 裂解气发现不多, 并且裂解气多是生烃层系下部高温度段的产物, 几乎都与中、上部成熟温度段的热解气混存; 另一方面陆相烃源层母质类型变化较大, 所成的天然气性质主要受原始母质性质影响, 而不像海相天然气性质那样主要受热成熟度的影响。

2 富气凹陷的分类及特点

截止 1995 年底,发现大中型气田的富气凹陷共 12 个(表 2)。因沉积凹陷在烃源岩具备的前提下,其成气成藏条件主要取决于构造演化特征,所以笔者建议对富气凹陷的分类以含油气层系的构造演化特点及埋深为划分原则。构造演化决定了烃源岩的成烃高峰期、圈闭形成期、运移成藏期及成藏后的保存条件;现今埋深决定了烃源岩的成气机制及最终热演化程度,并对气藏的特点及勘探方法和技术有直接影响。因中国东、中、西部的地温梯度相差

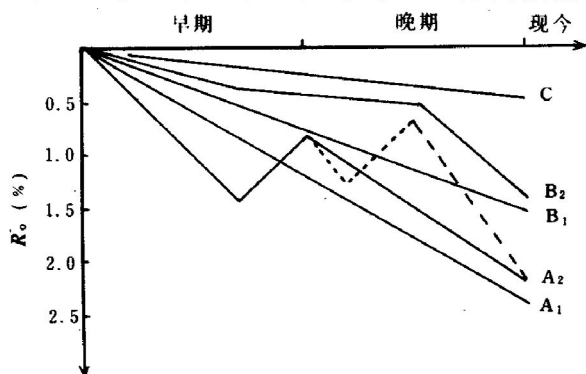


图 3 中国陆相富气凹陷分类示意图

型凹陷(B₂)及持续浅埋型凹陷(C)5 类(图 3,表 2)。

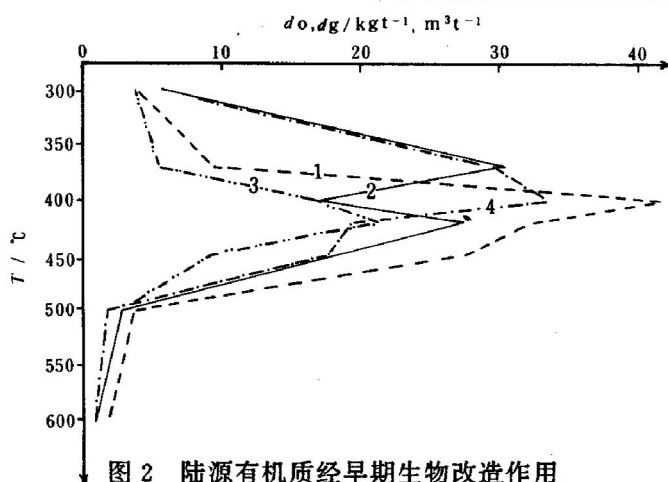


图 2 陆源有机质经早期生物改造作用

增生天然气示意图

- 1, 2—生物作用显著的京 54 井产气率和产油率;
3, 4—生物作用不显著的明 10-1 井产气率和产油率

较大,无法用统一的深度反映热演化程度,所以本文对富气凹陷分类的深度是相对概念,深埋指烃源岩的主体达到高-过成熟深度(R_o 大于 1.3%);中等埋深指烃源岩的主体在成熟深度(R_o 为 0.6%~1.3%);浅埋指烃源岩的主体在未熟-低成熟深度(R_o 小于 0.6%)。根据上述基本原则,结合中国中、新生代陆相盆地的构造演化特点,将富气凹陷分为持续深埋型凹陷(A₁)、脉动深埋型凹陷(A₂)、持续中埋型凹陷(B₁)、先缓后速中埋

表 2 中国陆相富气凹陷基本特征统计表

盆地	凹陷名称	含气层位	烃源岩层位	烃源岩特征	天然气相态	天然气成因	构造形态	凹陷类型
松辽	莺山-杏山	K ₁ ~J	J	煤系	干气	偏腐殖型	双断式	持续深埋型
渤海湾	辽河西部	E	E	暗色泥岩	湿气、凝析气	偏腐泥型	箕状单断式	持续深埋型
渤海湾	辽中	E	E	暗色泥岩	凝析气	偏腐泥型	箕状单断式	持续深埋型
渤海湾	东濮	E	E	暗色泥岩	湿气、凝析气	偏腐泥型	箕状单断式	持续深埋型
渤海湾	沾化	N	E	暗色泥岩	干气	生物降解	双断式	脉动深埋型
渤海湾	辽河东部	E	E	暗色泥岩	凝析气、干气	生物-热复合	双断式	先缓后速中埋型
渤海湾	板桥	E	E	暗色泥岩	凝析气	生物-热复合	箕状单断式	先缓后速中埋型
东海	西湖	E	E	煤系	凝析气	偏腐殖型	箕状单断式	持续深埋型
四川	川西北	T ₃	T ₃	煤系	凝析气、干气	偏腐殖型	坳陷式	脉动深埋型
塔里木	库车	N,E	J,T	煤系	凝析气	偏腐殖型	坳陷式	持续中埋型
吐哈	台北	J	J	煤系	凝析气	生物-热复合	坳陷式	持续中埋型
柴达木	中央	Q	Q	暗色泥岩	干气	生物	坳陷式	持续浅埋型

2.1 持续深埋型凹陷

烃源岩层系主体已达到高成熟至过成熟阶段,含油气层系在地质历史演化过程中没有经

历较大规模的构造运动,即早、中期没有显著的由构造运动相配合的成藏期,烃源岩及已成的分散液态烃类受高温热(裂)解作用时间较长,所以生成的天然气非常丰富,在生气高峰期有较弱的构造运动相匹配就能大规模聚集形成较大气田。

该类凹陷的烃源岩系若达到过成熟阶段则为干气,如松辽盆地西部莺山-杏山断陷、四川盆地西部的部分深凹陷;若主体为高成熟阶段,则以凝析气为主,如东海盆地的西湖凹陷,渤海湾盆地的辽中、东濮凹陷等。该类凹陷的气藏埋藏相对较深,如渤海湾盆地多在3 000 m以下,松辽盆地在2 500 m以下。当烃源岩以深湖相偏腐泥型母质为主时,该类凹陷是能形成大量原生气藏的唯一类型。

2.2 脉动深埋型凹陷

现今烃源岩系主体已达到高成熟至过成熟阶段,在地质历史时期有过较大规模的构造运动甚至抬升,即有过较显著的成藏期甚至油气藏破坏。烃在中等埋深时已大规模排出,所以在深埋高温热解-裂解阶段成气母质丰度已大大减少,很难形成丰富的高演化热(裂)解气。湖相偏腐泥型烃源岩凹陷,如渤海湾盆地的东营、饶阳、歧口等,原生天然气藏很少、油藏非常丰富,但由于油藏的大规模存在及向浅部运移,往往能形成生物降解气及泄压析出气为主的浅层次生气为主的富气凹陷。当烃源岩为煤系层系时,因中等演化程度所成烃类凝析气占有一定比例,所以经常原生凝析气与次生气并存,如四川盆地川西北坳陷、鄂尔多斯盆地的陕北斜坡凹陷。脉动深埋型凹陷的气藏埋深浅于持续深埋型凹陷,以次生干气为主,天然气丰富程度也远低于持续深埋型凹陷。

2.3 持续中埋型凹陷

烃源岩的主体处于热演化成熟阶段,构造演化相对较为稳定,烃类聚集及保存条件都较好,以凝析气为主,并常与油藏共生。该类凹陷烃源层系为煤系时,天然气富集程度高,以偏腐殖型热(裂)解气为主,如塔里木盆地库车坳陷;如果烃源层系早、中期微生物改造作用条件好,亦可以生物-热复合成因气为主,如吐哈盆地台北凹陷;如果烃源层为湖相暗色泥岩时,则为富油凹陷,如渤海湾盆地的霸县凹陷、廊固凹陷、准噶尔盆地的玛湖凹陷等。

2.4 先缓后速中埋型凹陷

现今烃源岩主体亦在热演化成熟阶段,而在地质历史演化的早中期埋藏较浅,处于微生物作用范围内。如果细菌生存的地质环境好,烃源岩以陆源有机质为主,则正是生物-热复合成因天然气形成的最有利凹陷。由于有早期的微生物改造作用,不仅使烃源层在埋藏中等深度就形成凝析气,而且成气强度大大提高,从而构成相对浅而肥的富气凹陷,如渤海湾盆地的板桥凹陷及辽河东部凹陷。

2.5 持续浅埋型凹陷

烃源岩主体处于热演化的未成熟-低成熟阶段,在地质演化过程中烃源岩没有大幅度的深埋,也没有大幅度的抬升。若烃源层以陆生有机质为主,有适宜细菌活动的温、压及水化学条件,并有良好的天然气聚集条件,则可形成富气凹陷,柴达木盆地东部中央坳陷属此类坳陷。由于第四系暗色泥岩陆生有机质丰富,较寒冷的气候使细菌活动范围加深,又由于有接近地表高盐度水层的化学沉淀作用使第四系上部层系封盖条件很好,所以形成了全球范围内第四系生物作用气富集区。

3 天然气富集规律

从目前已发现的各类富气凹陷含气量(图4)及分布状况分析,持续深埋型凹陷和持续中埋型凹陷天然气最丰富。前者全都分布在中国东部陆内裂谷盆地及大陆边缘断拗盆地内。笔者认为随着勘探技术的提高,钻深井能力的提高及勘探投入的加大,该类型凹陷仍是中国东部的天然气主要勘探对象,并且在海域及中、西部地区也将会有大的突破,该类型富气凹陷也将是未来的中国陆相盆地天然气勘探的主要类型。后者主要分布在中国西部。因为中国中、西部大型盆地中、新生界的煤系地层非常发育,且地温梯度低,大部分煤系烃源层系都处在中埋的深度范围,所以天然气富集程度高,勘探前景好。另外,在一些中小型盆地内(包括中国东部)也很可发育该类富气凹陷。

其它3类富气凹陷,目前找到的储量基本相当。先缓后速中埋型富气凹陷及持续浅埋型富气凹陷主要分布在东部及西部膏盐岩沉积层序发育较少的盆地内,尽管该两类富气凹陷探明储量不很多,但由于其埋藏较浅、勘探经济效益高,且是中小型盆地天然气形成及富集的主要类型,所以随着今后中小型盆地的勘探程度提高,对中国天然气增储上产有重要意义。脉动深埋型富气凹陷主要分布在中国东、中部油区,随着大油田勘探难度的加大而较难发现,但以该类天然气成藏形式所成的中小型气田在很多油区仍有勘探前景,是油区浅部天然气挖潜的重要领域。

持续深埋型富气凹陷,具有中央隆起带的较宽大型凹陷,以断裂背斜构造带最富集天然气,沿隆起带呈带状分布;无中央隆起带的凹陷,在相邻的凸起上,亦是断裂背斜构造带最富集天然气,常常沿生烃凹陷呈弧形分布,如莺山-杏山断陷的升平-汪家屯-五站富气带、辽中凹陷的JZ20-2富气带等;其次的断裂构造含气带,主要分布在斜坡背景的断阶带上。复合型含气带(构造-地层)主要分布在邻近凹陷的凸起带上,呈环状分布,如辽河西部凹陷。地层岩性含气带,常常沿生烃洼陷的内侧呈环带状分布,如莺山-杏山断陷的昌德-昌五富气带。

脉动深埋型富气凹陷,以复合型含气带为主,常围绕生烃洼陷在凸起或斜坡上呈环带状分布,如沾化凹陷的孤东-孤岛潜山披覆构造-岩性带。该类凹陷往往在中心有机质达到高演化程度,其岩性圈闭所聚集的高演化气藏常呈斑点状分布,如沾化凹陷的渤南洼陷。

持续中埋型富气凹陷,往往由于腐殖型烃源层系的生气强度低于腐泥型烃源层系的生气强度,所以烃源岩分布广泛的凹陷才能形成较大气田。大型凹陷边缘大型隆起带上的断裂背斜构造带最富集天然气,如库车坳陷南部塔北隆起带上的牙哈断裂背斜构造带、英买7断裂背斜构造带等,它们沿着塔北古隆起呈带状分布。

先缓后速中埋型富气凹陷,仍以断裂背斜构造带天然气最富集,并且常常围绕生烃洼陷呈弧状展布,如板桥凹陷的板桥-大张坨构造带。

持续浅埋型富气凹陷,以背斜构造带最富集天然气,因浅层背斜带往往由于下伏断层的活动或扭动应力而成,多呈线状分布,所以该类富气构造带主要呈线状分布,如柴达木盆地中央坳陷的台南-涩北背斜构造带。

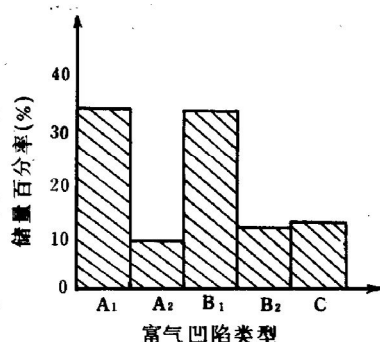


图4 中国陆相各类富气凹陷
天然气探明储量直方图

A₁—持续深埋型; A₂—脉动
深埋型; B₁—持续中埋型; B₂—先
缓后速中埋型; C—持续浅埋型

4 天然气勘探工作的战略思考

中国陆相盆地中已探明的石油储量约占全国总储量 91%，而已探明的天然气储量只占 33% 左右，但这并不标志中国陆相盆地贫气。根据前文所述的观点，陆相油气共生盆地中的天然气形成机理与油相比有其特殊性，它主要分布在地温场强度高或煤系烃源层系发育的中-深层及微生物生存条件好的浅-中层，而这些领域或条件却常常被忽略，因为天然气勘探基本没有摆脱找油的指导思想。中国陆相盆地的高异常地温场环境及淡水沉积体系环境较为普遍，各种地质环境中的烃源层系种类多、分布广，所以中国陆相盆地的天然气勘探潜力还很大。在东部地区应注重于老油区的深、浅层及勘探程度较低的中小型盆地；在中、西部地区，要注意评价微生物对烃源层的改造条件及煤系烃源层系，以中生界中、浅层为主要目标，并兼顾到中小型盆地的评价。

笔者认为在“九五”期间，中国陆相盆地天然气勘探应按着积极发展西部、高度重视海域、继续勘探东部及适当考虑中部的战略方针进行部署安排。预计按上述战略思考进行勘探应能找到一批大、中、小型特别是中、小型气田，从而使中国陆相地层天然气的勘探形势变得更好。

参 考 文 献

- 1 胡见义, 徐树宝, 冀立荣等. 烃类气成因类型及其富气区的分布模式. 天然气地球科学, 1992, 3(1): 1~5
- 2 戴金星, 裴锡古, 戚厚发. 中国天然气地质学(卷一). 北京: 石油工业出版社, 1992. 5~15

GENETIC TYPE AND ENRICHMENT LAW OF TERRESTRIAL NATURAL GAS IN CHINA

Qian Kai Wang Mingming Wei Wei

(Langfang Branch, Research Institute of Petroleum Exploration &
Development, CNPC, Langfang, Hebei)

Abstract

Natural gas resources are widespread in terrestrial basins of China. Large or middle size gas fields have been found in southeast sea areas. The terrestrial gas can be divided into five genetic types: biogenetic-thermal overprint gas, near-sapropelic pyrolysis gas, near-humic pyrolysis gas and biological degradation gas. Gas rich depressions include five types: continuously deep buried, pulsative deep buried, continuously mid-deep buried, early slow and late rapid mid-deep buried and continued shallow buried types. Gas richest places are faulted-anticline zones within the depressions. They are mostly distributed along paleouplifts, inherited structures or neighbouring places around source-rock sags. Two most advantageous domains of terrestrial gas enrichment are high geotemperature or rich coal measure regions in mid-deep depth and favourable environment for microorganism at middle-shallow depth.