

天然气地质学创新及实践



第一届天然气地球科学论坛

会议论文摘要

中国·杭州

2014年5月28—30日

目 录

煤成气研究对中国天然气工业发展的重要意义.....	1
戴金星, 倪云燕, 黄士鹏, 廖凤蓉, 于 聪, 龚德瑜, 吴 伟.....	1
中国煤成气理论的内涵及其重大意义.....	2
秦胜飞.....	2
渤海湾盆地黄骅坳陷中南部煤系发育区煤成气形成条件及勘探前景.....	4
杨池银, 于学敏, 刘 岩, 滑双君, 姜文亚, 邹磊落.....	4
一种确定煤的最大生气量实验方法.....	5
米敬奎, 何 坤, 孙萌萌.....	5
不同煤系烃源岩热模拟气轻烃特征研究.....	8
于 聪, 胡国艺, 陈瑞银, 孙庆伍.....	8
天然气氢同位素动力学分馏模型及其应用.....	11
倪云燕, 唐永春, 戴金星, 廖凤蓉, 张蒂嘉.....	11
TSR 作用下天然气碳氢同位素分馏机理——以川东北海相气藏为例.....	12
刘全有, 金之钧, 吴小奇, 刘文汇, 李 剑, 胡安平, 杨 春.....	12
鄂尔多斯盆地上古生界天然气氢同位素地球化学特征.....	13
李 剑, 李 谨, 李志生, 王东良, 官 色, 张 英, 崔会英, 郝爱胜, 马 成华, 孙庆武.....	13
松辽盆地庆深气田异常氢同位素组成成因研究.....	14
刘全有, 戴金星, 金之钧, 李 剑, 周庆华, 冯子辉, 李志生.....	14
松辽盆地火山岩储层天然气藏 He 同位素组成累积效应.....	15
杨 春, 陶士振, 侯连华, 米敬奎, 杨 帆.....	15
烃源岩中单金刚烷和双金刚烷化合物的来源与演化.....	16
房忱琛, 熊永强, 李 芸, 陈 媛.....	16
海相和陆相凝析油的地球化学鉴别——以四川盆地为例.....	18
黄士鹏, 汪泽成, 吕宗刚, 龚德瑜, 于 聪, 吴 伟.....	18
川中须家河组凝析油轻烃地球化学特征及形成环境分析.....	20
秦胜飞.....	20
四川盆地两类烃源岩生气性能研究.....	21
廖凤蓉.....	21
鄂尔多斯盆地地下古生界天然气成因和来源.....	22
吴小奇, 朱建辉, 李 颢, 邱 岐, 武英利, 吕剑虹.....	22
塔里木盆地库车坳陷天然气地球化学特征及成藏期次研究.....	25
陶小晚, 龚德瑜, 张欣欣, 李 勇.....	25
吐哈盆地油气成因再认识.....	28

龚德瑜, 倪云燕, 焦立新.....	28
鄂尔多斯盆地西部奥陶系气源与成藏规律.....	30
赵靖舟, 王大兴, 孙六一, 包洪平, 肖 晖, 吴伟涛, 陈永波.....	30
准噶尔盆地腹部前白垩系古地貌特征及其对油气的意义.....	33
卫延召, 杨 帆, 卢 山, 刘 刚.....	33
流体包裹体方法技术与非常规油气地质研究应用.....	34
陶士振, 米敬奎, 庞正炼, 杨 春, 高晓辉, 吴松涛, 张响响, 公言杰.....	34
徐家围子断陷沙河子组致密砂砾岩储层特征及含气性研究.....	39
周庆华, 陈践发, 郑军卫.....	39
中国三类页岩气地球化学研究.....	42
吴 伟, 戴金星, 董大忠, 黄士鹏, 龚德瑜.....	42
新疆北部、松辽盆地火山岩岩石地球化学特征及形成环境对比.....	43
卫延召, 赵 霞, 卢 山, 赵忠英, 张 黎, 杨 帆.....	43
双河背斜九佛堂组二氧化碳成因及开发对策.....	46
谷 团.....	46
塔里木盆地深层两类天然气.....	47
朱光有.....	47
四川盆地震旦系古油藏与现今气藏的信息载体—储层沥青.....	49
刘 丹, 谢增业, 李 剑.....	49
天然气地球化学实验技术研究进展.....	50
胡国艺.....	50
碳酸盐岩储层微区地球化学分析技术的发展及应用.....	51
胡安平, 李秀芝, 蒋义敏, 胡圆圆, 张 杰.....	51
我国天然气工业现状及发展战略.....	52
李 剑.....	52
我国油气工业上游科技发展对策建议.....	54
郑军卫, 孙德强, 赵 凡, 王立伟, 李小燕.....	54
2012 年世界油气勘探新发现及发展趋势.....	55
赵 喆, 张光亚, 梁 涛, 梁英波, 李宏伟.....	55
Bowen 盆地煤层气资源量/储量计算方法.....	56
夏明军, 蔡冬梅.....	56
不同类型天然气藏探明储量评估要点及原则.....	57
杨桂茹, 孙广伯, 徐小林, 鞠秀娟, 赵丽华.....	57
牙哈凝析气田气窜模式与调控技术.....	58
苗继军, 王永红, 李 旭, 孙太荣.....	58

编号: NGGSF010001

煤成气研究对中国天然气工业发展的重要意义

戴金星, 倪云燕, 黄士鹏, 廖凤蓉, 于 聪, 龚德瑜, 吴 伟

中国石油勘探开发研究院, 北京 100083

摘要: 自 1979 年煤成气理论在中国产生以来, 研究取得以下 4 个方面重要进展:

①煤系成烃以气为主以油为辅 ($RO=0.5\% \sim 1.5\%$), 中国的煤以腐殖煤为主, 其原始物质组分中纤维素和木质素占 $60\% \sim 80\%$ 决定了以生气为主的低 H/C 值 (原子) 占优势; 同时, 腐殖型有机物化学结构上以甲基和缩合芳烃为主而利于生气; 腐殖煤模拟煤化作用实验以生气为主。②对中国鄂尔多斯盆地和四川盆地等含煤盆地开展了含气潜力评价, 中国西北地区中、下侏罗统盆地群、东南部大陆架上第二盆地煤成气资源丰富, 生气强度大, 有利区多, 形成大气田条件优等推进了气区的发现。③煤成气成因鉴别取得重大进展, 在碳同位素系列、轻烃组分和生物标志化合物 3 个方面, 建立了 24 类鉴别指标和 3 个鉴别图版。④开展了大气田形成的定量和半定量主控因素 (如生气强度、晚期成藏和低气势) 研究, 加速了大气田的发现。

煤成气研究推动了中国天然气工业的迅速发展: ①中国从贫气国走向天然气大国, 1978 年中国天然气总地质储量和年产量分别为 $2\,264 \times 10^8 \text{m}^3$ 和 $137.3 \times 10^8 \text{m}^3$, 至 2011 年分别提高至 1978 年的 36 倍和 7.5 倍, 成为世界第 6 产气大国。②煤成气是中国天然气储量和产量的主体, 1978 年煤成气总储量和年产量仅分别占全国总储量和年产量的 9% 和 2.5%, 而 2011 年则分别提高为 69.7% 和 63.2%。③中国大气田以煤成气田为主, 2011 年底发现大气田总共 48 个, 其中煤成气大气田 31 个。④目前, 中国储量最大和年产量最高的苏里格气田的气源是煤成气。

关键词: 煤成气; 煤系成烃以气为主; 天然气工业; 大气田; 中国

戴金星 (1935-), 男, 浙江瑞安人, 中国科学院院士, 教授级高级工程师, 主要从事天然气地质学和地球化学研究. □ E-mail: djx@petrochina.com.cn.

编号: **NGGSF010002**

中国煤成气理论的内涵及其重大意义

秦胜飞

中国石油勘探开发研究院, 北京 100083

摘要: 中国的聚煤期众多, 煤和煤系泥岩(本文专指腐殖煤)十分发育, 是重要的烃源岩。在煤系及其上、下与之关联的储集层是天然气勘探重要层系。煤系烃源岩有机显微组分以贫氢的镜质组和惰质组为主, 相对富氢的显微组分诸如壳质组和藻类体等含量一般较低, 所以煤系有机质以Ⅲ型为主, 其生烃的特点是以“生气为主, 生油为辅”。在以煤系为烃源岩的勘探领域中应以找气为主, 找油为辅。但在天然气保存条件较差、天然气大量散失地区, 有望找到小型煤成油田。

煤系有机质在未成熟、成熟、高成熟和过成熟阶段都能生烃, 是“全天候”的气源岩, 且不同显微组分生烃次序先后有别, 使煤系烃源岩生烃高峰期延续得比较长, 即使圈闭形成得比较晚也能与生烃期相匹配, 有利于天然气的成藏。在煤系烃源岩成熟阶段的早、中期, 是生成凝析气阶段, 有别于腐泥型干酪根。虽然煤系有机质以短链为主, 生成天然气重烃气含量不高, 但在低熟和中等成熟度阶段也能生成湿气或凝析气。因此, 在中、低成熟度煤系分布地区, 在煤成气的开发过程中, 应采取适当的措施应对凝析气反凝析作用对管线的堵塞。

煤成气中烷烃气碳同位素, 特别是重烃气碳同位素较重; 煤成的凝析油苯系物和甲基环己烷含量较高、煤成的凝析油和正常原油碳同位素和单体烃碳同位素都明显偏重, 为天然气的鉴别提供了重要依据。煤成油饱和烃色质图上以低三环萘烷含量、低伽马蜡烷含量、“反 L”型的规则甾烷为特征, 也为煤成油气的来源提供了较好的鉴别依据。

煤成气的有利勘探区往往集中在生气中心附近或周缘、生气强度大于 $20 \times 10^8 \text{m}^3$ 的区域。这一定量指标的提出, 为多年来天然气勘探区带和目标选区提供了重要依据。

煤成气理论不仅发展了天然气成因新理论, 而且开拓了煤成气勘探的新领域, 有效地指导和推动了中国天然气的勘探 and 开发进程, 科学预测和加速我国大气田的发现, 大大促进了中国天然气储量的迅速增长, 使中国从贫气国迈向产气大国, 大力地推动了中国天然气事业快速发展。

秦胜飞(1969-), 男, 安徽五河人, 博士, 高级工程师, 主要从事天然气地质与地球化学、油气成藏等方面的研究。地址: 北京市学院路 20 号 910 信箱石油地质研究所, 邮政编码 100083。

Email: qsf@petrochina.com.cn

关键词：中国；煤成气理论；内涵；意义

参考文献

1. 戴金星. 1979 .成煤作用中形成的天然气和石油. 石油勘探与开发, (3), 10-17
2. 戴金星, 秦胜飞, 陶士振等. 2005. 中国天然气工业发展趋势和天然气地质理论重要进展. 天然气地球科学, 16 (2), 127-142. □
3. 戴金星. 1992. 各类烷烃气的鉴别. 中国科学(B辑), (2), 187-193.
4. 戴金星, 倪云燕, 黄士鹏等. 2014. 煤成气研究对中国天然气工业发展的重要意义. 天然气地球科学, 35 (1): 1-22. 20.
5. Shengfei Qin, Jinxing Dai, Xiawei Liu. The controlling factors of oil and gas from coal in the Kuqa Depression of Tarim Basin, China. International Journal of Coal Geology. 2007, 70: 255-263.

编号: **NGGSF010003**

渤海湾盆地黄骅拗陷中南部煤系发育区煤成气形成条件及勘探前景

杨池银¹, 于学敏², 刘岩^{2,3}, 滑双君², 姜文亚², 邹磊落²

1. 中国石油大港油田分公司, 天津 300280;
2. 中国石油大港油田分公司勘探开发研究院, 天津 300280;
3. 中国石油大港油田分公司博士后工作站, 天津 300280

摘要: 近几年, 在黄骅拗陷石炭系一二叠系煤系发育区发现了多个“古生古储”型煤成气藏, 表明黄骅拗陷煤成气勘探具有很大潜力。从黄骅拗陷的潜山类型、生气条件、储层特征、供储关系及保存条件等方面分析了煤系发育区煤成气的成藏条件, 同时对典型气藏的天然气成因类型进行了分析。在成藏条件和区带综合评价的基础上, 指出黄骅拗陷存在羊二庄一埕海潜山、孔店潜山、乌马营潜山、东光潜山和泊镇潜山 5 个煤成气勘探有利目标区。

关键词: 黄骅拗陷; 古生界; 石炭系; 二叠系; 碳酸盐岩; 碎屑岩; 煤成气

杨池银(1962-), 男, 湖北天门人, 教授级高级工程师, 长期从事大港油田天然气勘探综合研究及管理工作。□ E-mail: yangchiyin@petrochina.com.cn.

一种确定煤的最大生气量实验方法

米敬奎, 何 坤, 孙萌萌

中国石油勘探开发研究院, 北京 100083

摘要: 地质条件下的有机质生烃是一个漫长而又非常复杂的地质过程, 实验室内不可能重现地质条件下的这种低温、慢速的生气过程。自从 Waples, Lopatian 提出温度可以弥补时间对有机源岩生烃的地质效应后, 出现了多种通过快速升温来模拟有机质生烃能力和生烃过程的实验方法。

任何一种模拟实验的实验条件只是对地质条件的逼近, 实验结果并不能直接应用地质条件下, 只有通过动力学方法把实验结果外推到地质条件下。但是实验结果的准确与否, 直接决定着其在地质条件下的应用效果。本研究利用黄金管模拟实验体系, 通过对鄂尔多斯盆地侏罗系延安组的一个煤样 ($R_o=0.52\%$ 、 $TOC=75.69\%$ 、 $H/C=0.84$), 在不同的实验条件下的生气模拟实验, 来确定何种实验方法才能得到煤的最大生气量。

黄金管模拟设备最早是上世纪末期从国外引进的, 当时由于各方面条件的限制, 最高模拟温度为 600°C 。最常用的升温速率分别为 $20^{\circ}\text{C}/\text{小时}$ 和 $2^{\circ}\text{C}/\text{小时}$ 。图 1 为 600°C 之前该煤在 $20^{\circ}\text{C}/\text{小时}$ 和 $2^{\circ}\text{C}/\text{小时}$ 2 种升温速率条件下的生烃曲线。从理论上讲, 不管生烃速率如何, 对于同一煤样, 如果生气过程完全结束, 其生成气体量应该相等或接近。图 1 中两条生烃曲线的间距比较大, 说明煤在 600°C 生气过程并没有完全结束。以前常用的方法是把 $2^{\circ}\text{C}/\text{小时}$ 升温速率在 600°C 的生烃量当作煤的最大生气量, 并以此值为参照来计算煤在不同温度点的转化率; 或是对最大生气量进行人为赋值, 然后进行生烃曲线拟合。人为赋值具有很大的随机性, 对于同一实验结果, 不同的人对最大生气量可能赋值不同, 相应的生气结束的温度点也一定不同, 如图 1 中 A 点与 B 点是对煤最大生气量 2 种不同的赋值方法, 其生烃曲线有很大不同, 由此进行的生烃动力学计算结果可想而知会产生很大的差异。因此, 600°C 的模拟温度, 根本不能反映煤完整的生气过程。

近些年, 由于实验釜体材料的改进, 模拟温度可以达到 800°C 。图 2 是最高模拟温度达 700°C 时, $20^{\circ}\text{C}/\text{小时}$ 和 $2^{\circ}\text{C}/\text{小时}$ 2 种不同升温速率条件下煤样的生气曲线。可以发现 2 种升温速率的生气量分别在 650°C 和 675°C 均发生降低。前

米敬奎(1966-), 男, 陕西咸阳人, 教授, 主要从事有机地球化学和有机岩石学研究工作.
jkmi@petrochina.com.cn.

人的大量模拟实验证明在这 2 种升温速率条件下，重烃气一般在 400℃- 450℃ 之间开始发生裂解。而高温（650℃~700℃）时总烃气体积的快速降低是甲烷的进一步裂解造成的。所以，温度过高也不能完全反应煤的生气过程。为了探索一种更好的模拟煤完整生气的过程，把模拟升温速率降低到 1℃/小时，以使在模拟温度在没有达到甲烷的裂解温度以前能完整模拟生气过程。结果可以发现在升温速率条件下，甲烷 575℃ 就发生了裂解。更慢的升温速率 (<1℃/小时) 来模拟煤生烃气过程也是不可行的。因为一般实验室不可能进行长达几个月或几年的模拟实验。

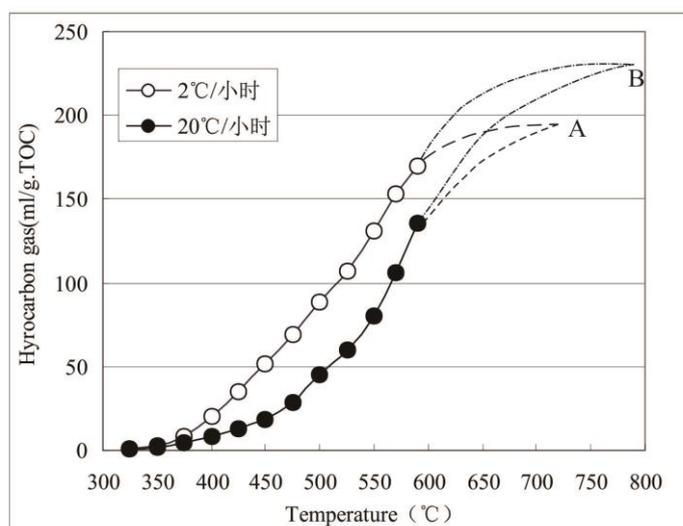


图 1 煤最大生气量的赋值不同导致的生烃曲线的变化

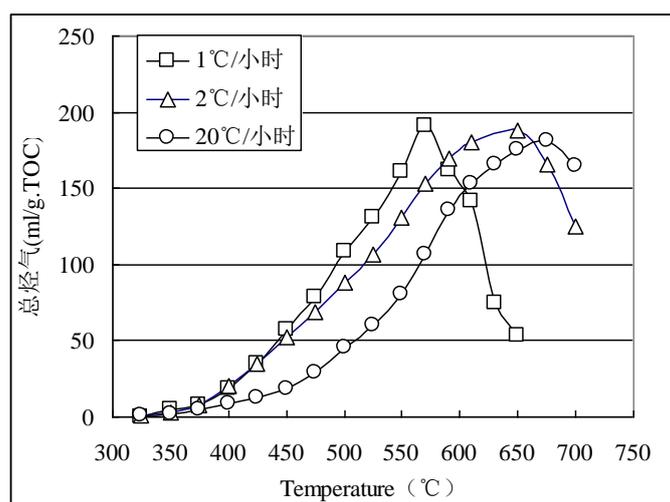


图 2 3 种不同升温速率煤的生烃曲线

为了能在黄金管体系比较客观全变地模拟煤的生烃过程。在本次研究过程中我们选择了分步模拟的方法来模拟煤的生气过程。其模拟过程是先将样品在 1 小时从室温加热到 300℃，恒温 73 小时（其中 1 小时是使釜体内外温度达到

平衡，再恒温 3 天），然后对模拟生成的气体进行分析定量。对模拟残渣再进行下一个温度点（例如，350℃）的模拟实验，实验的升温程度为 1 小时从室温加热到目标温度，恒温 73 小时。模拟产物完成分析后，对剩余残渣进行更高温度点的模拟。如此反复，直到在某一温度点，模拟残渣基本不再生气。其目的使煤在低温下生成的烃类气体在不致在高温下发生裂解，导致煤的总生气量降低。图 3 是利用分步模拟实验方法得到煤在不同温度点累计生气量随温度的变化。

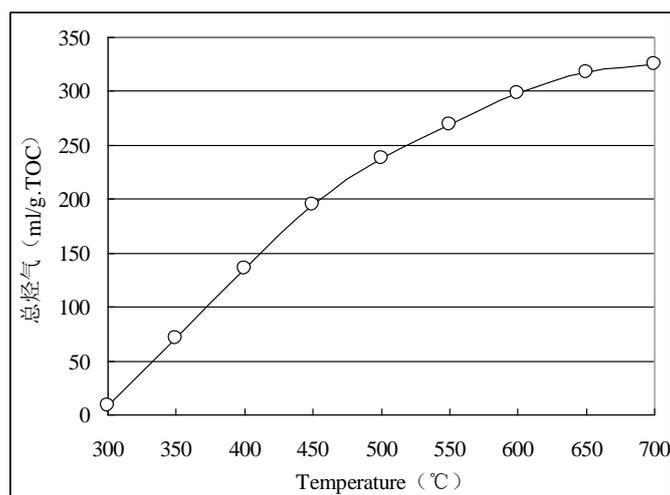


图 3 分步模拟实验条件下煤在不同温度点累计生气量

700℃ 模拟残渣 $H/C=0.11$ ，到达此阶段煤最大生气量的理论值为 340.67ml/g.TOC，实验结果为 325.45ml/g.TOC。可见利用分步模拟方法得到煤的生气量更接近理论生气量。因此，分步模拟实验是一种获得煤最大生气量更好的实验方法。

不同煤系烃源岩热模拟气轻烃特征研究

于 聪¹, 胡国艺¹, 陈瑞银¹, 孙庆伍²

1. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083;
2. 中国石油勘探开发研究院廊坊分院, 河北 廊坊 065007

摘要: 为研究不同煤系烃源岩(煤和炭质泥岩)生气地球化学特征差异, 对不同煤系烃源岩样品(BD-13 煤和 BD-16 炭质泥岩)进行了热模拟实验, 该实验是在中国石油勘探开发研究院设计的直压式生排烃热模拟系统中完成的, 该系统属于封闭的热模拟实验体系。分别将磨成粉末的 50g 煤和 80g 炭质泥岩装入斧内, 并用金属块压实, 以模拟地下地层的压实状态, 并将斧内抽真空, 以避免空气对样品的污染。设置 250℃~600℃共 8 个温度点, 并在每个温度点保持恒温 24h。收集每个温度点的气体产物, 对其进行组分分析、碳氢同位素测定和轻烃分析。

其中 BD-13 煤、BD-16 炭质泥岩在 350℃~450℃的热模拟气样的轻烃组成特征如下:

(1) 如图 1, 煤和炭质泥岩的轻烃谱图有非常明显的差异, 主要表现在煤的热模拟气的苯和甲苯含量明显的高于炭质泥岩, 煤样在 350℃~450℃, 芳烃/总 C₆₋₇化合物值为 0.26、0.22 和 0.53, 而炭质泥岩的此值仅为 0.05、0.04 和 0.03 (表 1), 这说明同样为腐殖型干酪根, 热模拟气样的芳香烃含量却不相同;

(2) 煤热模拟气具有较高含量的正构烷烃, 如煤样在 350℃~450℃, 正庚烷值为 72.64、55.62 和 67.04, 明显高于炭质泥岩的 10.44、20.98 和 27.24 (表 2)。炭质泥岩热模拟气则具有较高含量的异构烷烃和环烷烃 (表 2)。

(3) 随热模拟温度升高, 煤热模拟气的甲苯和苯的含量也随之增大 (图 2), 而炭质泥岩热模拟气苯和甲苯的含量却基本没有变化。煤和炭质泥岩热模拟气正构烷烃含量均随热模拟温度升高而增多, 异构烷烃和环烷烃含量则减少 (表 2)。

(4) 在热模拟实验过程中, 煤和炭质泥岩热模拟气并没有表现出甲基环己烷优势 (表 1), 却表现出正庚烷优势, 在轻烃研究中, 甲基环己烷通常都作为煤成气的典型特征之一。对于煤热模拟气, 虽然正庚烷占主要优势, 但甲基环己烷和二甲基环戊烷二者相比前者含量明显高于后者, 而炭质泥岩的热模拟气两者

于聪, 1987 年出生, 女, 吉林省德惠市人, 博士研究生, 研究方向为天然气地质与地球化学, yucongcong1234@163.com

含量相当。

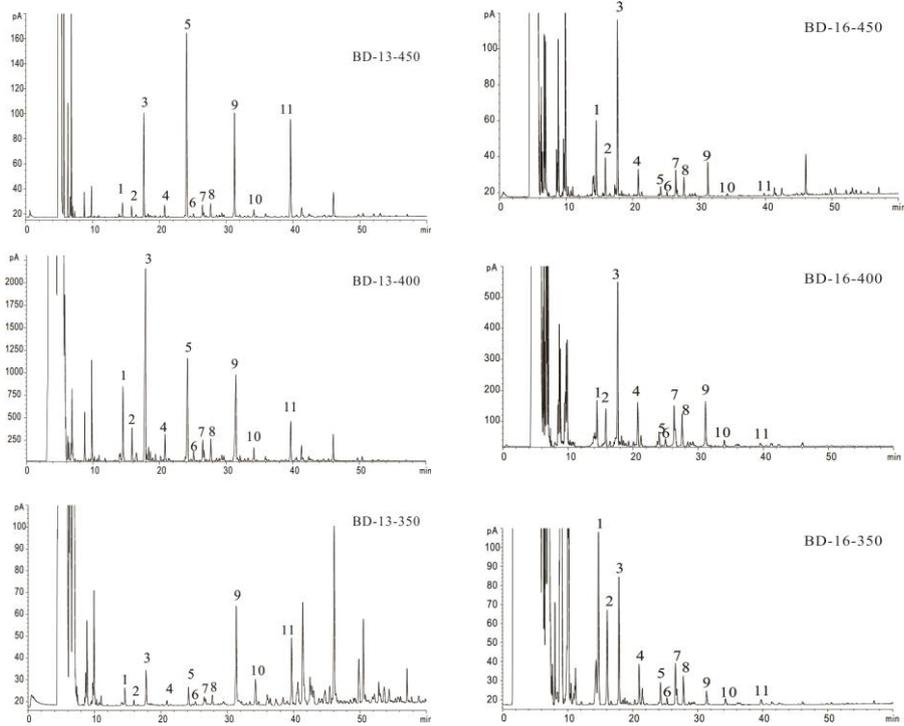


图 1 煤和炭质泥岩轻烃谱图（注：1-2-甲基戊烷；2-3-甲基戊烷；3-正己烷；4-甲基环戊烷；5-苯；6-环己烷；7-2-甲基己烷；8-3-甲基己烷；9-正庚烷；10-甲基环己烷；11-甲苯）

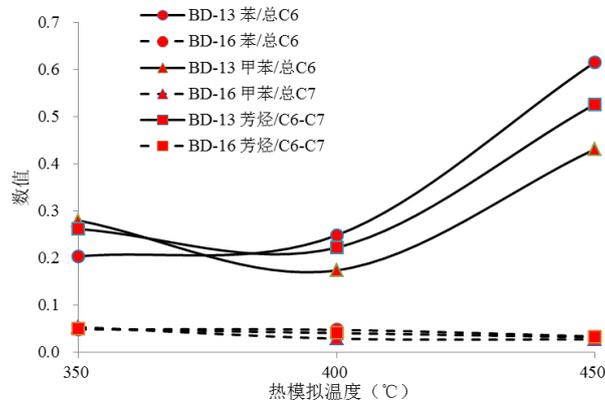


图 2 BD-13 煤和 BD-16 炭质泥岩热模拟产物轻烃参数随热模拟温度变化图

表 1 煤和炭质泥岩热模拟气轻烃参数 I

样品/温度	苯/ 总 C ₆	甲苯/ 总 C ₇	芳烃/ C ₆ -C ₇	苯/ 正己烷	苯/ 环己烷	甲苯/ 正庚烷	甲苯/ MCH	nC ₇ /Σ	MCH/Σ	ΣDMCP/Σ
BD-13/350	0.20	0.28	0.26	0.51	4.29	0.66	2.47	0.78	0.21	0.01
BD-13/400	0.25	0.17	0.22	0.51	12.06	0.36	3.17	0.85	0.10	0.05
BD-13/450	0.62	0.43	0.53	2.29	48.92	1.14	11.99	0.87	0.08	0.05
BD-16/350	0.05	0.05	0.05	0.20	3.27	0.49	1.00	0.50	0.25	0.25
BD-16/400	0.05	0.03	0.04	0.10	1.65	0.12	0.70	0.72	0.12	0.16
BD-16/450	0.03	0.03	0.03	0.07	2.26	0.09	1.01	0.74	0.06	0.20

注：Σ-nC₇+MCH+ΣDMCP；nC₇-正庚烷；MCH-甲基环己烷；ΣDMCP-二甲基环戊烷

表 2 煤和炭质泥岩热模拟气轻烃参数 II

样品/温度	链烷烃 /C ₆ -C ₇	环烷烃 /C ₆ -C ₇	nC ₇ / MCH	正己烷/甲 基环戊烷	n-C ₅₋₇ / C ₅₋₇	i-C ₅₋₇ / C ₅₋₇	Cyc-C ₅₋₇ / C ₅₋₇	异庚 烷值	正庚 烷值
BD-13/350	0.57	0.16	3.73	6.97	0.56	0.30	0.15	10.44	72.64
BD-13/400	0.70	0.08	8.70	10.16	0.63	0.28	0.10	7.40	55.62
BD-13/450	0.41	0.06	10.55	7.43	0.67	0.21	0.12	5.79	67.04
BD-16/350	0.84	0.11	2.04	2.78	0.20	0.60	0.21	8.68	10.44
BD-16/400	0.80	0.16	5.75	3.20	0.42	0.41	0.17	7.84	20.98
BD-16/450	0.86	0.11	11.60	5.70	0.49	0.40	0.12	5.07	27.24

注：n-C₅₋₇-C₅₋₇ 正构烷烃；i-C₅₋₇-C₅₋₇ 异构烷烃；cyc-C₅₋₇-C₅₋₇ 环烷烃

编号: NGGSF010006

天然气氢同位素动力学分馏模型及其应用

倪云燕, 唐永春, 戴金星, 廖凤蓉, 张蒂嘉

中国石油勘探开发研究院, 北京 100083

摘要: 由于天然气主要由一些低分子量的烃类组成, 成分比较简单, 其成因研究主要依赖于组分和碳氢同位素。与碳同位素相比, 氢同位素具有独特的地球化学意义。在所有元素中, 氢的两种稳定同位素[H (99.985%) 和 D (0.015%)]之间的相对质量差最大, 导致了氢具有最大的稳定同位素比值变化范围。氢同位素可以更加灵敏地反映地球化学环境的变化。天然气氢同位素比值广泛的范围和氢元素独特的化学反应使得氢同位素数据成为对碳同位素的宝贵补充。氢同位素值的测量已成为在地质应用中的一种很有潜力的技术。本文主要介绍天然气氢同位素动力学分馏模型及其在油气地球化学研究中的应用。

在天然气碳同位素动力学分馏模型的基础上, 基于正构辛烷裂解量子化学计算, 建立了天然气氢同位素动力学分馏模型。甲烷、乙烷和丙烷 D 同位素取代和未取代的活化能差异分别为 318.6、281.7 和 280.2 cal/mol, 频率因子为 1.07。利用这一模型, 我们可以根据天然气实测氢同位素预测天然气成熟度。根据世界不同地区天然气甲烷、乙烷和丙烷的碳氢同位素实测数据, 用氢同位素动力学分馏模型预测的天然气成熟度与用碳同位素动力学分馏模型预测的天然气成熟度进行了比较, 发现根据乙烷的碳同位素和氢同位素所做的预测结果最为相符。这说明天然气甲烷的氢同位素可能比较容易受到生物混合作用的影响, 而丙烷氢同位素则容易受到与水之间的氢同位素交换以及实验误差等方面的影响。该模型在塔里木盆地库车坳陷和四川盆地中坝气田进行了地质应用, 利用模型预测的天然气成熟度、形成时间和形成温度与前人研究结果一致, 充分说明了模型的适用性。

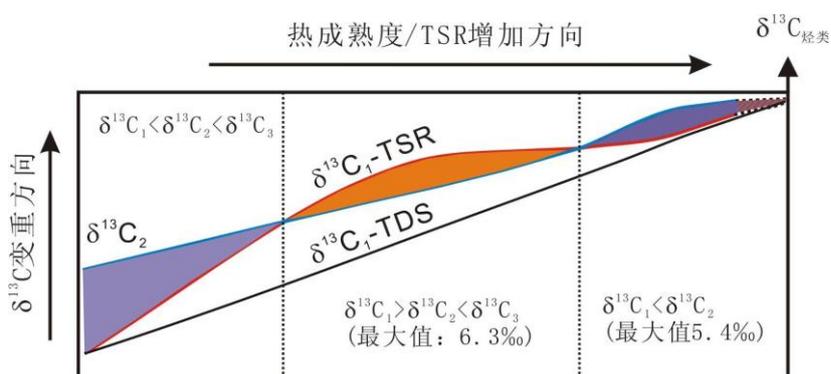
编号: NGSF010007

TSR 作用下天然气碳氢同位素分馏机理—— 以川东北海相气藏为例

刘全有¹, 金之钧¹, 吴小奇¹, 刘文汇¹, 李剑², 胡安平³, 杨春²

- 1、中石化石油勘探开发研究院, 北京 100083;
- 2、中国石油勘探开发研究院廊坊分院, 河北 廊坊 065007;
- 3、中国石油勘探开发研究院杭州分院, 浙江 杭州 310023

摘要: 通过对四川盆地东部 50 个天然气样品组分和碳、氢同位素组成分析, 天然气以烃类气体为主, 干燥系数高 ($C_1/C_{1+}=0.975\sim 1.0$), H_2S 含量变化较大 ($H_2S=0.00\sim 16.89\%$)。利用烷烃气碳、氢同位素组成和判识油型气热演化程度图版, 确定四川盆地东部天然气主要为原油裂解气, 且热演化程度已处于油气裂解阶段。在四川盆地东部, 烷烃气碳、氢同位素组成普遍存在局部倒转现象, 即 $\delta^{13}C_1 > \delta^{13}C_2 < \delta^{13}C_3$ 和 $\delta D_1 > \delta D_2$ 。造成这种异常碳氢同位素组成系列关系主要与该研究区域不同 TSR 强度有关, 因为在该反应过程中不仅会产生大量碳同位素较重的甲烷; 同时, 水参与了硫酸盐与烃类的化学还原反应使得水中的 H^+ 与烃类中 H^+ 发生同位素交换, 从而引起 TSR 生成甲烷的氢同位素分馏大于干酪根直接生烃过程造成的氢同位素分馏。异常 $\delta^{13}C_{CO_2}$ 与 TSR 反应过程中部分 CO_2 与硫酸盐中金属离子 (Mg^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Ca^{2+} 等) 以碳酸盐的形式沉淀后残余重碳同位素组成的 CO_2 与酸性气体腐蚀碳酸盐储层形成的 CO_2 相混合有关。



TSR 与热演化过程中甲烷乙烷碳同位素分馏模式图

刘全有(1975-), 男, 山西朔州人, 高级工程师, 博士, 主要从事天然气地质与地球化学研究. E-mail: liuqy.syky@sinopec.com

编号: **NGGSF010008**

鄂尔多斯盆地上古生界天然气氢同位素地球化学特征

李 剑^{1,2}, 李 谨^{1,2}, 李志生^{1,2}, 王东良^{1,2}, 官 色³, 张 英^{1,2},
崔会英^{1,2}, 郝爱胜^{1,2}, 马成华^{1,2}, 孙庆武^{1,2}

1. 中国石油勘探开发研究院廊坊分院, 河北 廊坊 065007;
2. 中国石油天然气集团公司天然气成藏与开发重点实验室, 河北 廊坊 065007;
3. CSIRO Earth Science and Resource Engineering, North Ryde, NSW, 2113, Australia

摘要: 鄂尔多斯盆地上古生界天然气为典型的煤成气, 作者对处于上古生界的苏里格、榆林、子洲三大气田的天然气进行了系统的分析, 根据天然气氢同位素地球化学特征, 结合天然气组分、碳同位素、储层包裹体均一温度等资料对天然气沉积环境、来源、成熟度以及运移聚集特点进行了探讨。研究发现天然气中甲烷氢同位素除了能够较好的反映母质类型, 并指示沉积环境外, 还与天然气成熟度关系密切; $\delta D_{C_2H_6} - \delta D_{CH_4}$ 差值与甲烷氢同位素可以用来指示母源有机质输入特征。海相腐泥型气的 $\delta D_{C_2H_6} - \delta D_{CH_4}$ 差值一般小于 10, 陆相腐殖型气 $\delta D_{C_2H_6} - \delta D_{CH_4}$ 差值一般大于 10; 鄂尔多斯盆地上古生界天然气甲烷碳同位素与上古生界烃源岩镜质体反射率 (R_o %) 关系密切, 显示其近源聚集的特点; 苏里格气田天然气主要为煤成气, 存在不同成熟度的煤成气的连续充注。鄂尔多斯盆地上古生界天然气持续充注、近源聚集的特点是导致苏里格气田部分天然气烷烃气碳、氢同位素系列发生局部倒转的原因。

李剑(1966-), 男, 河北怀安人, 教授级高级工程师, 博士, 主要从事油气地球化学研究. E-mail: lijian69@petrochina.com.cn.

编号: NNGSF010009

松辽盆地庆深气田异常氢同位素组成成因研究

刘全有¹, 戴金星², 金之钧¹, 李 剑³, 周庆华², 冯子辉⁴, 李志生³

1. 中石化石油勘探开发研究院, 北京 100083;
2. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083;
3. 中国石油勘探开发研究院廊坊分院, 河北 廊坊 065007;
4. 中国石油大庆油田勘探开发院, 黑龙江 大庆 163712

摘要: 天然气中的碳同位素组成主要反映母质类型及其演化程度, 烷烃气氢同位素在天然气研究中运用不如碳同位素广泛, 但其蕴涵的一些信息具有特定的意义, 如对沉积环境的示踪. 目前对氢同位素的研究, 主要为烷烃气中的氢同位素组成, 绝大部分是研究有机成因烷烃气的氢同位素, 特别是对 CH_4 中氢同位素研究得较多. 无机成因天然气氢同位素组成研究与其它类型天然气相比较为薄弱. 本文通过对松辽盆地徐家围子断陷庆深气田天然气组分、碳氢同位素和稀有气体同位素分析, 天然气以烷烃气为主, 烷烃气碳同位素组成随着碳数增加呈变轻趋势, 且 $\delta^{13}\text{C}_1 > -30\text{‰}$, R/Ra 一般大于 1.0, $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ 值介于 $-16.5\text{‰} \sim -5.1\text{‰}$ 之间; 氢同位素组成具有: $\delta \text{D}_1 = -205 \sim -197\text{‰}$, 平均值为 -203‰ , $\delta \text{D}_2 = -247 \sim -160\text{‰}$, 平均值为 -195‰ , $\delta \text{D}_3 = -237 \sim -126\text{‰}$, 平均值为 -163‰ , 且存在氢同位素组成倒转现象, 即 $\delta \text{D}_1 > \delta \text{D}_2 < \delta \text{D}_3$ (图 1). 根据对庆深气田天然气不同地球化学特征分析, 认为该气田烷烃气中重烃主要为有机成因, 而 CH_4 有相当无机成因混入. 庆深气田烷烃气氢同位素组成具有 CH_4 变化小, 而重烃 (δD_2 , δD_3) 变化大的特点. 根据与朝阳沟地区天然气烷烃气氢同位素组成对比分析, 认为 CH_4 主要表现为无机成因, 而重烃气 (δD_2 , δD_3) 主要为有机成因, 且无机成因 CH_4 氢同位素组成重于有机成因的。

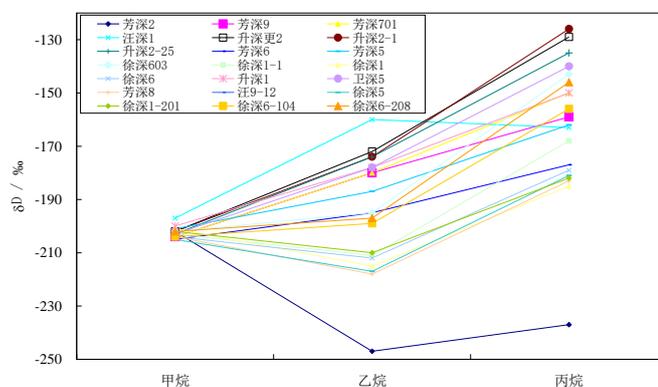


图 1 庆深气田烷烃气氢同位素组成变化

编号: **NGGSF010010**

松辽盆地火山岩储层天然气藏 He 同位素组成累积效应

杨 春, 陶士振, 侯连华, 米敬奎, 杨 帆

中国石油勘探开发研究院, 北京 100083

摘要: 地质演化过程中, 天然气藏储层中放射性元素衰变产生的 ^3He 和 ^4He 会在气藏中逐渐积累, 使气藏中 He 同位素组成 ($^3\text{He}/^4\text{He}$) 产生变化。以松辽盆地徐家围子断陷和长岭断陷深层火山岩储层天然气藏为研究对象, 对火山岩储层天然气和储层流体包裹体中的 He 同位素进行研究。当火山岩储层无 Li 元素含量异常时, 放射成因 ^3He 产率很低, 基本可以忽略, 放射性元素衰变产生的 ^3He 不会影响 $\text{CH}_4/^3\text{He}$ 值和 $\text{CO}_2/^3\text{He}$ 值 2 项地球化学指标。当火山岩储层中放射性元素丰度高于沉积岩层中时, 在地质历史中会产生更多的 ^4He , 对气藏中 He 同位素的影响较大。营城组火山岩每克岩石每年生成 ^4He 约为 $5.1 \times 10^{-12} \text{cm}^3$ 。在不考虑扩散的情况下, Xs1-1 井营城组火山岩初始的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值为 3.51×10^{-6} , 即 R/Ra 值为 2.51, 现今 R/Ra 值为 1.1, 当 R/Ra 值减小到初始值的 43.8% 时, 幔源 He 的比例相应从原来 29.9% 减少到目前的 10.75%, 即幔源 He 的比例减小到原始的 1/3。

关键词: He 同位素; 放射成因 He; 累积效应; 火山岩; 松辽盆地

杨春 (1981-), 男, 甘肃陇西人, 工程师, 博士, 主要从事天然气地质及地球化学研究.
E-mail: yangchunzs@petrochina.com.cn

编号: **NGGSF010011**

烃源岩中单金刚烷和双金刚烷化合物的来源与演化

房忱琛¹, 熊永强², 李 芸², 陈 媛²

1. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083;

2. 中国科学院广州地球化学研究所, 有机地球化学国家重点实验室, 广东 广州 510640

摘要: 尽管金刚烷类化合物在油气地球化学的很多方面具有广泛的应用, 但是其烃源岩中的来源和形成机制依然不明确。金刚烷类化合物在无任何催化条件下的原油热裂解模拟实验中的生成已经被证实 (Fang et al., 2012)。此外, 许多广泛存在于沉积物、干酪根和原油中的有机组分在具有适当催化剂条件下的实验室热裂解模拟实验中皆可能成为生成金刚烷类化合物的前体物 (Berwick et al., 2011; Giruts and Gordadze, 2007; Wei et al., 2006a, b)。但是, 金刚烷类化合物在可溶有机质和干酪根无任何催化条件下发生的热裂解过程中的产率和分布演化特征未得到定量研究。

为了更好地了解地质体中金刚烷类化合物的来源和成因, 认识原油裂解过程中金刚烷类化合物的演化特征, 我们选择了一个海相页岩样品, 对其可溶有机质和干酪根组分分别进行热裂解模拟实验, 并结合 GC-MS-MS 对裂解产物中的金刚烷类化合物 (包括 22 个单金刚烷类化合物和 10 个双金刚烷类化合物) 进行定量分析检测, 进而讨论烃源岩中金刚烷化合物的主要来源以及热演化规律。图 1 是海相页岩中不同类型金刚烷类化合物的计算产率 ($\mu\text{g/g}$) 随着热成熟的变化情况。

从图中可以看出, 在海相页岩的单金刚烷类化合物和双金刚烷类化合物的计算产率变化过程中, 单金刚烷类化合物占有重要的地位。另一方面, 与干酪根裂解产生的金刚烷类化合物的产率相比, 海相页岩中可溶有机质裂解产生的金刚烷类化合物在整体中占有主要地位。简而言之, 在海相页岩热成熟过程中, 可溶有机质比干酪根具有更强的生成单金刚烷类化合物和双金刚烷类化合物的能力, 同时可溶有机质和干酪根生成单金刚烷类化合物的能力要强于双金刚烷类化合物。在低成熟度阶段, 即 EasyRo 为 0.7% 时, 单金刚烷类化合物和双金刚烷类化合物

基金项目: 国家自然科学基金 (编号: 41172115, 41173069)、国家油气专项 (编号: 2011ZX05008-002-32)。

第一作者简介: 房忱琛, 女, 博士后. E-mail: fangchenchen@petrochina.com.cn

皆可以在海相页岩中生成，产率为 0.9 $\mu\text{g/g}$ （单金刚烷类化合物中 56%来自于可溶有机质，44%来自于干酪根，双金刚烷类化合物则全部来自于可溶有机质）。随着热成熟度的增加，金刚烷类化合物的产率在 EasyRo 为 1.7%时达到最大值 3.5 $\mu\text{g/g}$ （单金刚烷类化合物中 68%来自可溶有机质，32%来自干酪根；双金刚烷类化合物中 61%来自可溶有机质，39%来自干酪根）。随后，金刚烷类化合物的产率开始减少，并在 EasyRo 为 3.0%时裂解殆尽。

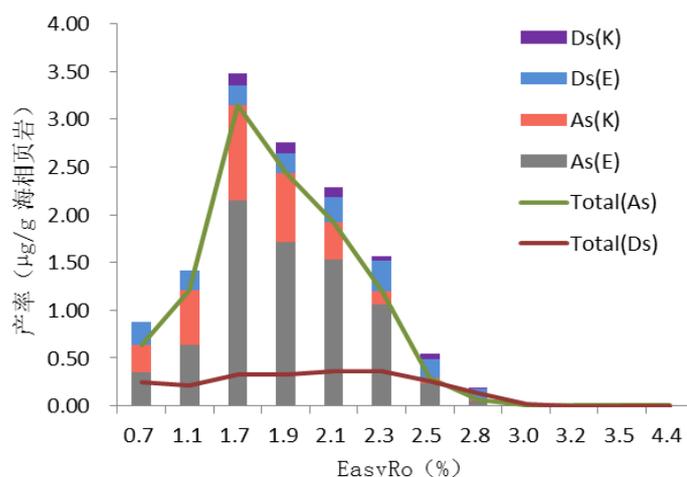


图 1 海相页岩中不同类型金刚烷类化合物的计算产率 ($\mu\text{g/g}$) 随着热成熟变化情况。其中 Ds (K) 和 Ds (E) 分别代表干酪根和可溶性有机质裂解产物中双金刚烷类化合物的产率，As (K) 和 As (E) 分别代表干酪根和可溶性有机质裂解产物中单金刚烷类化合物的产率

参考文献

- Berwick, L., Alexander, R., Pierce, K., 2011. Formation and reactions of alkyl adamantanes in sediments: Carbon surface reactions. *Organic Geochemistry* 42, 752-761.
- Fang, C.C., Xiong, Y.Q., Liang, Q.Y., Li, Y., 2012. Variation in abundance and distribution of diamondoids during oil cracking. *Organic Geochemistry* 47, 1-8.
- Giruts, M.V., Gordadze, G.N., 2007. Generation of adamantanes and diamantanes by thermal cracking of polar components of crude oils of different genotypes. *Petroleum Chemistry* 47, 12-22.
- Wei, Z.B., Moldowan, J.M., Jarvie, D.M., Hill, R., 2006a. The fate of diamondoids in coals and sedimentary rocks. *Geology* 34, 1013-1016.
- Wei, Z.B., Moldowan, J.M., Paytan, A., 2006b. Diamondoids and molecular biomarkers generated from modern sediments in the absence and presence of minerals during hydrous pyrolysis. *Organic Geochemistry* 37, 891-911.

编号: NGGSF010012

海相和陆相凝析油的地球化学鉴别——以四川盆地为例

黄士鹏¹, 汪泽成¹, 吕宗刚², 龚德瑜¹, 于 聪¹, 吴 伟¹

1. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083

2. 中国石油西南油气田分公司川南气矿, 四川 泸州 646000

摘要: 凝析油是一类特殊的烃类流体, 一般伴随天然气共同产出, 两者间关系密切, 在地层条件下呈现气态, 称之为凝析气藏, 采出地表以后由于温度、压力降低而反凝析形成液态。四川盆地川中和川南地区海相地层下二叠统茅口组、下三叠统嘉陵江组以及陆相地层上三叠统须家河组均产出凝析油。通过分析海、陆相凝析油的轻烃、生物标志物以及碳同位素组成, 以及相同层位产出天然气的轻烃组成特征, 我们取得以下认识: (a) 海相层位凝析油属于一类原油族群, 陆相须家河组凝析油属于另一类原油族群 (图 1); (b) 海相凝析油为腐泥型有机质生成, 成熟度较高, 处于高成熟阶段末期, 生物标志物对比表明, 下二叠统碳酸盐岩以及下志留统的泥岩均对其有贡献; 须家河组凝析油则是由腐殖型有机质在成熟度阶段所生成 (图 1, 图 2); (c) 海相凝析油与大部分伴生天然气来源相同, 少部分天然气有腐殖型有机质的贡献; 须家河组凝析油与伴生天然气为同源, 两者均来源于须家河组自身 III 型有机质; (d) 海相和陆相凝析油并未发生生物降解以及明显的运移分馏作用。

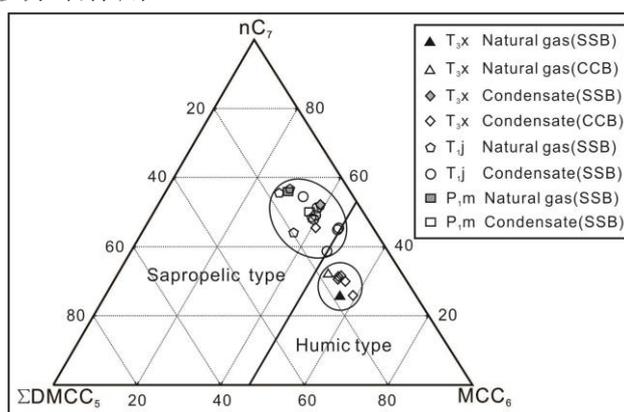


图 1 四川盆地不同层位凝析油 C₇ 轻烃组成 (SSB: 川南地区; CCB: 川中地区, 下同)

黄士鹏, 1984 年 6 月出生, 男, 山东泰安人, 博士, 工程师, 主要从事天然气地质和地球化学研究。
工作单位地址: 北京市海淀区学院路 20 号中国石油勘探开发研究院地质所, 邮编 100083, 联系电话
13811315494, 邮箱: shipenghuang@petrochina.com.cn.

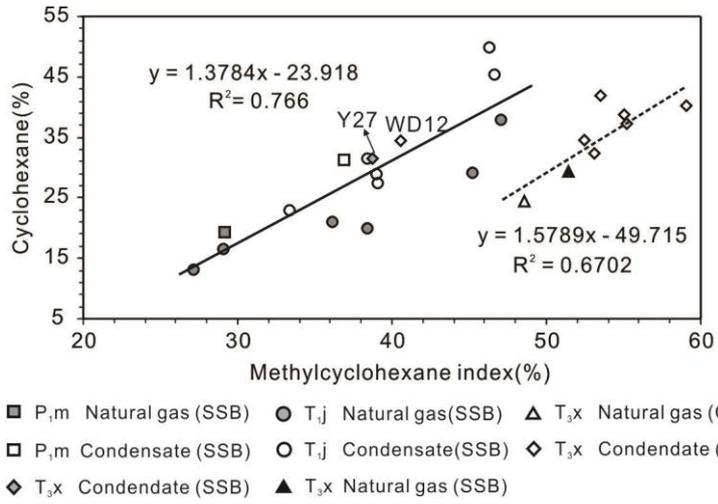


图 2 四川盆地不同层位凝析油甲基环己烷指数—环己烷指数正交图

编号: **NGGSF010013**

川中须家河组凝析油轻烃地球化学特征及形成环境分析

秦胜飞

中国石油勘探开发研究院, 北京 100083

摘要: 川中上三叠统须家河组自下而上发育须一至须六段, 其中须一、三、五段以煤系为主, 为以生气为主的烃源岩; 须二、四和须六段以砂岩为主, 是较好的储集层。由于川中须家河组煤系烃源岩正处于成熟阶段, 烃源岩不仅生成大量的天然气, 还生成少许以 C_5-C_{13} 轻馏分为主的凝析油。针对川中须家河组凝析油研究比较薄弱的现状, 笔者携带车载冰箱, 从川中油气井分别采集了须家河组须二、须四及须六段新鲜的凝析油样品, 进行轻烃地球化学特征方面的研究。所采样品立即放入车载冰箱中, 以免轻组分大量散失, 影响分析化验结果。

须家河组凝析油全油色谱特征分为双峰型和单峰型两种, 须二段和须四段凝析油为双峰型, 须六段凝析油为单峰型; 凝析油“蒸发分馏”现象较普遍, 可能与喜山运动构造抬升有关; 甲基环己烷指数表明, 川中地区须家河组凝析油均来自以III型为主的烃源岩, 但须二段油样的烃源岩的干酪根类型比须四、六油样相对偏好一些; 用 C_7 化合物的族组成分布和 C_7 化合物的族组成比值进行对比研究, 须二段凝析油烃源岩沉积水体盐度可能为半咸-咸的沉积环境, 须四段、须六段的凝析油烃源岩沉积水体盐度可能为淡到微咸的沉积环境。这也说明须一段烃源岩形成环境生油潜力可能大于须三和须五段烃源岩。该研究对须家河组凝析油特征、烃源岩形成环境与生烃特性研究都具有重要意义。

关键词: 川中; 须家河组; 凝析油; 轻烃; 地球化学

秦胜飞(1969-), 男, 安徽五河人, 博士, 高级工程师, 主要从事天然气地质与地球化学、油气成藏等方面的研究。地址: 北京市学院路 20 号 910 信箱石油地质研究所, 邮政编码 100083.

Email: qsf@petrochina.com.cn

四川盆地两类烃源岩生气性能研究

廖凤蓉

中国石油勘探开发研究院, 北京 100083

摘要: 四川盆地是我国大型富含天然气盆地之一, 盆地内烃源岩类型丰富, 既有海相成因, 又有陆相成因, 主要包括下寒武统海相页岩、下志留统海相泥岩、下二叠统海相泥质碳酸盐岩、上二叠统海陆过渡相煤系(包括煤和暗色泥岩)、上三叠统陆相煤系(包括煤和暗色泥岩)及下侏罗统陆相泥岩等六套烃源岩, 同一套烃源岩在不同地区具有不同的成烃母质和成烃过程, 对不同类型烃源岩的生气性能研究对于四川盆地天然气的勘探与开发具有重要的理论意义。

本文选取了有代表性且成熟度较低的 2 个样品(一个三叠系须家河组煤样和一个二叠系栖霞组泥晶灰岩样品)进行生烃动力学模拟实验。模拟实验系统选用了限定压力的金管封闭体系, 以 20°C/h 和 2°C/h 的加热速率分别进行程序升温, 从 300°C 开始到 650°C 结束, 生烃热解实验完成后, 将黄金管取出高压釜, 对黄金管内的热模拟气体组分进行了分析。

结果表明不同类型烃源岩生成气体产率均与热模拟温度和升温速率相关, 主要有以下规律:

(1) 不同类型的烃源岩随着热模拟温度的升高(热演化程度的增加), 生成气体产率也在不断的变化。甲烷产率随着温度的升高不断增加, 均在热模拟实验的最高温度点 650°C 达到最大值。须家河组煤样甲烷产率最大可达 250.99mg/g.TOC (2°C/h, 650°C), 栖霞组灰岩甲烷产率最大可达 248.73 mg/g.TOC (2°C/h, 650°C), 两个样品生气性能类似。C₂H₆、C₃H₈ 和 C₂₋₅ 气态烃累计产率随温度的变化规律则不同于甲烷, 其产率先随着温度的升高而增加, 到最大值后随温度的升高而减小, 直到产率为零, 且腐泥型烃源岩较腐殖型烃源岩生成重烃气含量更多。

(2) 通过生烃动力学模拟计算, 获得了须家河组煤样和栖霞组灰岩的生烃动力学参数。须家河组煤样和栖霞组灰岩的生成甲烷的活化能分布范围分别为 42~66kcal/mol 和 37~57 kcal/mol, 活化能主峰分别为 58kcal/mol 和 50 kcal/mol, 频率因子(A)分别为 $6.9239 \times 10^{11} \text{s}^{-1}$ 、 $9.0482 \times 10^9 \text{s}^{-1}$ 。

通过四川盆地须家河组煤样和二叠系泥晶灰岩样品生气性能的对比分析, 认为两类烃源岩样品都具有很好的生气性能。尽管普遍认为二叠系碳酸盐岩有机质含量不高, 但其生气潜力还是不容忽视的。利用上述生烃动力学参数结合具体地区的热演化史, 可推导该地区实际地质条件下的生烃过程。

编号: **NGGSF010015**

鄂尔多斯盆地地下古生界天然气成因和来源

吴小奇, 朱建辉, 李 贶, 邱 岐, 武英利, 吕剑虹

中国石化石油勘探开发研究院无锡石油地质研究所, 江苏 无锡, 214126

摘要: 鄂尔多斯盆地是我国陆上重要的油气产区之一, 根据鄂尔多斯盆地第三次油气资源评价结果, 上、下古生界天然气资源量分别为 9.52 和 $1.62 \times 10^{12} \text{m}^3$ 。下古生界天然气位于奥陶系马家沟组中, 目前的勘探已发现了靖边大气田, 该气田及西侧 2012 年新增探明储量达 $2210 \times 10^8 \text{m}^3$ (杨华和刘新社, 2014)。中石化也在大牛地气田和盆地南部的富县区块奥陶系都发现了工业气流。业内对鄂尔多斯盆地地下古生界天然气成因和来源的认识存在较大的分歧, 尽管普遍接受了混源的认识, 但既有认为主要为煤成气, 来自石炭一二叠系腐殖型烃源岩; 也有认为主体是油型气, 来自奥陶系腐泥型烃源岩; 还有学者认为油型气主要来自石炭系灰岩 (Hu et al., 2008, 2011; 刘全有等, 2012)。本次工作通过对鄂尔多斯盆地不同地区下古生界天然气组分、同位素和轻烃地球化学特征的分析, 并与上古生界天然气进行对比, 来探讨天然气的成因和来源, 为研究天然气聚集成藏和资源评价提供有益的信息。

鄂尔多斯盆地地下古生界天然气干燥系数和非烃气体含量整体高于上古生界天然气, 其中靖边气田天然气干燥系数普遍高于 0.98%, 大牛地气田天然气干燥系数略低。下古生界天然气中普遍含有微量的 H_2S ($<0.4\%$), 且 H_2S 含量与 CO_2 含量和干燥系数之间没有明显的正相关关系, 与四川盆地东北部高含 H_2S 天然气明显不同, 这表明鄂尔多斯盆地地下古生界天然气中的 H_2S 可能并非主要来自 TSR 作用。

在烷烃气碳同位素特征上, 大牛地地下古生界天然气具有正碳同位素系列, 而靖边和富县下古生界天然气则普遍发生了甲烷、乙烷碳同位素部分倒转。下古生界天然气乙烷碳同位素值较为分散, 既有高于 -28% , 也有低于 -28% 的。这些特征表明, 下古生界天然气并非原生天然气, 而是经历了运移、混合等改造作用。

在烷烃气氢同位素特征上, 大牛地天然气表现出正氢同位素系列, 而靖边气田天然气则有些样品发生了甲烷和乙烷氢同位素部分倒转, 与碳同位素特征一致。靖边天然气甲烷氢同位素值分布在 -170% 左右, 大牛地天然气的值略低, 结

吴小奇, 1982 年 10 月生, 男, 江苏大丰人, 博士, 工程师, 地球化学专业, 中国石化石油勘探开发研究院无锡石油地质研究所, 邮编: 214126, 联系电话: 0510-68787283, 15061807330, E-mail: xqwu@163.com。

合碳同位素特征，大牛地天然气热演化程度略低于靖边天然气。

在轻烃化合物组成方面，靖边气田下古生界天然气其 Mango 轻烃指数 K_1 和 K_2 均与上古生界煤成气值基本一致，大牛地气田也表现出同样的特征，反映出同源的特点。在 C_7 和 C_{5-7} 组成三角图上，除大牛地下古生界天然气在 C_7 组成三角图上部分表现出油型气特征外，盆地下古生界天然气整体表现出与上古生界煤成气一致的特点。

在稀有气体同位素特征方面，下古生界天然气具有较低的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比值， R/R_a 值普遍低于 0.05，在 $^3\text{He}/^4\text{He}-^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 相关图上表现出典型壳源特征，没有显著幔源组分的参与。

鄂尔多斯盆地下古生界天然气在正、异庚烷值相关图上分布在芳香族曲线附件，表现出煤成气的特征；在轻烃碳同位素组成相关图（ $\delta^{13}\text{C}_{\text{甲苯}}-\delta^{13}\text{C}_{\text{苯}}$ ， $\delta^{13}\text{C}_{\text{甲基环己烷}}-\delta^{13}\text{C}_{\text{环己烷}}$ ）上，靖边下古天然气落入煤成气区域，而大牛地下古天然气则表现出混合的特征。下古生界天然气乙烷和丙烷碳同位素值整体低于上古生界煤成气，表现出油型气的特征，这与轻烃的判识结果并不完全一致。考虑到下古生界天然气干燥系数较高，以甲烷为主，因此主要通过甲烷的地球化学特征来进行判识。在甲烷碳氢同位素值相关图上，靖边下古生界天然气表现出以煤成气为主、受少量油型气混合的特征，而大牛地下古生界天然气受油型气混入的影响明显更高。

通过选取合适的端元值并进行混源模拟计算，米敬奎等（2012）认为靖边下古生界天然气中煤成气和油型气的比例平均分别为 85% 和 15%。采用类似的方法计算发现，大牛地下古生界天然气中二者比例分别为 52% 和 48%，油型气的混入比例明显高于靖边下古生界天然气。

通过 $(\delta^{13}\text{C}_2-\delta^{13}\text{C}_3)-C_2/C_3$ 相关图进行进一步判识发现，大牛地和靖边气田下古生界油型气为二次裂解气，其中靖边气田裂解程度更高。尽管有学者认为这些油型气主要来自奥陶系烃源岩，但盆地内部马家沟组碳酸盐岩 TOC 普遍低于 0.5%，不具备大量生烃的能力，而背锅山组和平凉组烃源岩仅分布在盆地的西缘和南缘，大牛地气田下古生界天然气干燥系数明显低于南部的靖边气田天然气，表明天然气并不是自西南向东北由靖边运移而来。同时，下古生界天然气数据点离散性较强，表明气藏之间连通性不强。因此，下古生界天然气中的油型气可能主要来自石炭系灰岩，而不是奥陶系碳酸盐岩。尽管石炭系本溪组底部铁铝质泥岩是一套较好的盖层，但其不连续分布，石炭系煤系和灰岩生成的天然气会通过古岩溶风化壳和溶沟向下和侧向运移到马家沟组中成藏。

参考文献：

Hu Anping, Li Jian, Wenzheng Zhang, Li Zhisheng, Hou Lu, Liu Quanyou. Geochemical characteristics and origin of

gases from the Upper, Lower Paleozoic and the Mesozoic reservoirs in the Ordos Basin, China. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 2008, 51(Supp. I): 183-194.

Hu Guoyi, Zhang Shuichang. Characterization of low molecular weight hydrocarbons in Jingbian gas field and its application to gas sources identification. *Energy, Exploration & Exploitation*, 2011, 29(6): 777-796.

刘全有, 金之钧, 王毅, 韩品龙, 陶冶, 王起琮, 任战利, 李文厚. 鄂尔多斯盆地海相碳酸盐岩层系天然气成藏研究. *岩石学报*, 2012, 28(3): 847-858.

米敬奎, 王晓梅, 朱光有, 何坤. 利用包裹体中气体地球化学特征与源岩生气模拟实验探讨鄂尔多斯盆地靖边气田天然气来源. *岩石学报*, 2012, 28(3): 859-869.

杨华, 刘新社. 鄂尔多斯盆地古生界煤成气勘探进展. *石油勘探与开发*, 2014, 41(2), 待刊.

编号: NCGSF010016

塔里木盆地库车坳陷天然气地球化学特征 及成藏期次研究

陶小晚¹, 龚德瑜¹, 张欣欣¹, 李 勇²

1. 中国石油勘探开发研究院, 北京, 100083;
2. 中国石油塔里木油田分公司, 新疆 库尔勒, 841000

摘要: 库车坳陷位于塔里木盆地北部, 油气资源十分丰富。目前已在 大北-克拉苏-依奇克里克构造带发现了克深、克拉2、大北1 和依南2、吐孜洛克等气田(藏), 在拜城凹陷发现大宛齐油田, 在秋里塔克构造带东部发现迪那2气田, 在前缘隆起带发现羊塔克、玉东2、却勒、英买7和牙哈、提尔根等油气田。大量的天然气发现, 使库车坳陷成为塔里木盆地的主要产气区, 为西气东输工程提供了充足的气源。

天然气组分数据的分析基于塔里木油田库车坳陷2014年之前所有天然气样品。由于天然气样品取样容器、取样位置和取样时间均可对天然气组分数据产生明显影响, 因此对于已投产油气田, 采用以下4项标准甄选数据: (1) 投产后样品数据; (2) 样品空气含量少(一般少于5%); (3) 取样位置为井口或分离器, 非地面数据头、放空管线、油嘴管汇等位置; (4) 取样器为气袋, 非MFE取样器; 对于未投产油气田, 采用后三项标准。

库车坳陷天然气组分特征总体相似, 烃类气体占绝对优势, 其含量多大于90%, 而非烃气体的含量较低, 一般小于10%。但不同构造单元、不同油气田、不同层位可存在明显差异。整体而言, 库车坳陷天然气干燥系数在克拉和和克深地区最大, 向东、西两侧和南部前缘隆起带逐渐降低。其中, 大北-克拉苏构造带和秋里塔格构造带上各个气田天然气样品干燥系数具有高度一致性。克拉2气田下第三系和白垩系(E+K)及克深气藏白垩系(K)天然气干燥系数类似, 为1.00~0.99。东秋地区天然气样品干燥系数以0.99~0.98为主, 大北气田为0.98~0.97, 迪那凝析气田为0.91~0.89。阿瓦3井干燥系数0.93, 博孜1井干燥系数0.91, 依拉克气藏及神木气藏干燥系数0.84~0.86, 神木1井原油伴生气(K)为0.70。

而前缘隆起带含油气层系众多, 从第四系到寒武系均有工业油气发现, 且在

陶小晚(1981.1), 男, 河北石家庄人, 工程师, 博士, 主要从事石油地质学研究; 单位地址: 北京市海淀区学院路20号中国石油勘探开发研究院; 邮编: 100083; 联系电话: 010-83593407; E-mail:taoxiaowan@petrochina.com.cn

寒武系、奥陶系、志留系存在明显、不同程度的海相油气和陆相油气的混合作用。因此本文仅以第三系和第四系为主要的分析对象。位于前缘斜坡带中段的羊塔克构造带东段（羊塔101井以东）（E+K）、玉东1井区第三系和英买7构造带第三系天然气干燥系数最高，为0.91~0.93；位于前缘斜坡带东段的牙哈构造带第三系和第四系干燥系数降低为0.85~0.88；二八台和提尔根地区天然气干燥系数为前缘斜坡带最低，为0.72~0.8；位于英买7构造带以西的羊塔克西部的羊塔5井区和玉东2井区天然气干燥系数也较低，为0.79~0.90。库车坳陷不同构造单元天然气干燥系数的差异直接反映了这些天然气形成于有机质热演化的不同阶段，它们具有不同的成熟度。

iC_4/nC_4 比值在大北-克拉苏构造带具有一定的变化规律，为减小计算误差，采用有效数字为三位的样品。层位老、埋藏最深的克深地区0.43~0.60，克拉2地区0.38~0.83，大北地区0.74~1.01，迪那地区0.92~1.06。由于迪那2气田天然气干燥系数明显低于大北-克拉苏构造带， iC_5 和 nC_5 值分析准确，且在迪那2气田 iC_4/nC_4 值与 iC_5/nC_5 值具有良好的正相关性。此外，通过对迪那2气田单井投产后 iC_4/nC_4 值与 iC_5/nC_5 值的系统分析，可发现迪那2气田单井 iC_4/nC_4 值与 iC_5/nC_5 值均具有随着开采时间增长而增大的趋势。由此可明确，库车坳陷天然气 iC_4/nC_4 值主要受天然气成熟度和天然气运移两个因素影响。随天然气成熟的升高， iC_4/nC_4 值具有降低的趋势。随着天然气运移，剩余天然气 iC_4/nC_4 值具有升高趋势。

库车坳陷非烃气体以 CO_2 和 N_2 为主，不含或者仅含痕量硫化氢，小于17ppm（克拉201井）。大北-克拉苏构造带 CO_2 和 N_2 含量主体均小于1%。向南部前缘隆起带， CO_2 和 N_2 含量有所增加。 CO_2 增加幅度不大，不超过3%，但 N_2 在英买力地区（无英买1、2）不同层系具有明显差异。例如，英买7地区，奥陶系原油伴生气中 N_2 含量12.98-26.89%，白垩系（英买46）地层含量4.48-5.59%，下第三系含量更低。说明库车坳陷天然气中 N_2 含量具有随天然气成熟度升高而降低的趋势。在前缘隆起带，不排除受到具有高 N_2 含量的海相天然气的混染作用。

大量的研究表明，天然气中甲烷的碳同位素组成主要受控于其成熟度，而 C_{2+} 重烃气体的碳同位素组成主要取决于气源岩的有机质类型。库车坳陷天然气 $\delta^{13}C_2$ 均高于-28‰，来源于三叠-侏罗系煤系烃源岩。不同构造单元天然气中烃类气体碳同位素组成特征存在明显差异（图1）。位于前陆冲断带的克深地区和克拉2气田天然气 $\delta^{13}C_1$ 和 $\delta^{13}C_2$ 最高，向西（大北1气田→乌参1和神木1井）、向东（吐孜地区和依南地区）、向南（英买17-19井区）天然气碳同位素逐渐变轻。

导致天然气组分及碳同位素差异的原因主要是成藏期次和天然气成熟度的差异。自晚第三纪康村期以来，库车坳陷主要经历了三期成藏。晚第三纪康村早中期三叠系烃源岩达到成熟阶段，开始排出液态烃，早期在整个库车坳陷均有液

态烃分布。康村晚期—库车早中期，库车坳陷三叠—侏罗系烃源岩普遍达到成熟阶段，库车坳陷北部和西部甚至达到高成熟演化阶段，以形成凝析气藏为主，是库车油气系统凝析油气藏形成的主要时期。库车前陆逆冲带的大宛齐油田和依奇克里克油田以及轮台凸起大部分凝析气藏均主要是在这一时期形成的。库车晚期—第四纪西域期，库车坳陷烃源岩普遍达到高—过成熟阶段，因而以形成高成熟贫凝析油的凝析气藏(东部)和过成熟干气藏(中西部)为主。该时期是库车前陆逆冲带已发现气藏的主要形成时期^[1]。由于强烈的构造运动，克深气藏、克拉2气田早期充注的天然气发生散失，而主要聚集了烃源岩在高—过成熟阶段生成的天然气，从而导致克拉2气藏中的天然气碳同位素异常高^[2]，而晚期充注的高成熟干气对残留的原油进行了强烈的气洗作用^[3]。盖层发育条件是晚期天然气富集程度的主控因素之一，克拉1井和克参1井区位于克拉2气田北部，白垩系盖层条件差，晚期充注天然气大量散失，白垩系储层中残留的天然气甲烷碳同位素变高(克参1井白垩系 $\delta^{13}C_1 = -17.3\%$)，逸散到上覆地层的天然气甲烷碳同位素变轻(克拉1井吉迪克组 $\delta^{13}C_1 = -31.5\%$)。大北1、吐孜洛克等气藏(田)均是在这一时期形成的。由于秋里塔格构造带晚期构造对来源于北部的油气产生明显遮挡作用，位于前缘隆起带的牙哈、英买7、英买21及羊塔克地区，基本未遭受晚期成藏期的油气充注。

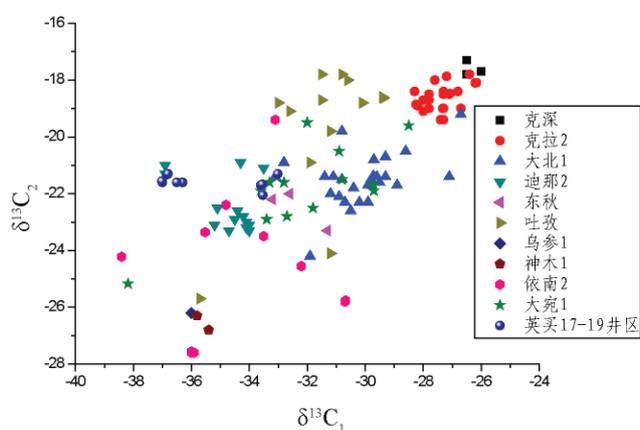


图1 库车坳陷不同构造带 $\delta^{13}C_2$ 与 $\delta^{13}C_1$ 关系图

参考文献:

- [1] 赵靖舟, 戴金星. 库车前陆逆冲带天然气成藏期与成藏史[J]. 石油学报, 2002, 23(2):6-10.
- [2] 赵孟军, 王招明, 张水昌, 等. 库车前陆盆地天然气成藏过程及聚集特征[J]. 地质学报, 2005, 79(3):414-422.
- [3] 张斌, 黄凌, 吴英, 等. 强烈气洗作用导致原油成分变化的定量计算: 以库车坳陷天然气藏为例[J]. 地学前缘, 2010, 17(4):270-279.

吐哈盆地油气成因再认识

龚德瑜¹, 倪云燕¹ 焦立新²

1. 中国石油勘探开发研究院, 北京, 100083

2. 中国石油吐哈油田公司, 哈密, 839000

摘要: 吐哈盆地位于中国西北新疆维吾尔自治区境内, 是我国著名的含煤盆地, 探明煤炭资源量逾 5.3×10^{11} 吨。自1989年在吐哈盆地中、下侏罗统煤系发现工业油流以来, 相继在该盆地发现了鄯善、丘陵、温米、巴喀、丘东、红台等一批油气田。

吐哈盆地主要以产油为主, 气油当量比为0.2。众多学者将此归因于吐哈盆地煤系显微组分中较高的壳质组含量。鉴于吐哈盆地侏罗系煤系地层与中国西北塔里木盆地、准噶尔盆地具有相似的地质背景, 在过去的30年间, 围绕中国西北侏罗系煤成油展开了大规模的勘探工作, 然而却鲜有发现。至今, 吐哈盆地仍是我国唯一一个煤系以生油为主的盆地。一些学者开始重新思考吐哈盆地原油的成因来源。

过去对吐哈油源的研究, 主要的注意力集中在原油和烃源岩的生物标志物对比, 而对在石油中占重要比重的轻烃研究较少, 或只是作为辅助手段。鉴于吐哈侏罗系原油的主体是轻质油和凝析油, 轻烃地球化学研究显得尤为重要。

本文通过对吐哈盆地主要油气田29个天然气样品组分和稳定同位素分析及26个原油样品的轻烃地球化学分析, 得出以下结论:

(a) 吐哈盆地侏罗系天然气成熟度较低, R_o 普遍 < 0.8 , 是中、下侏罗统煤系烃源岩在较低演化阶段的产物。而侏罗系储层中的天然气成熟度较高, R_o 普遍 > 1.5 , 是二叠系湖相烃源岩在高演化阶段的产物。

(b) 正庚烷和异庚烷值交会图表明, 原油成熟度在 $1.05\% \sim 1.75\% R_o$ (图1), 巴喀和红台地区部分原油遭受了生物降解和蒸发分馏等次生变化。

(c) 侏罗系原油轻烃组成表现出混源的特征 (图1), 既有来自于二叠系和三叠系高熟湖相烃源岩的贡献, 又有来自于中、下侏罗统煤系烃源岩的贡献。早前未被重视的与湖相烃源岩有关的前侏罗系储层具有巨大的勘探潜力。

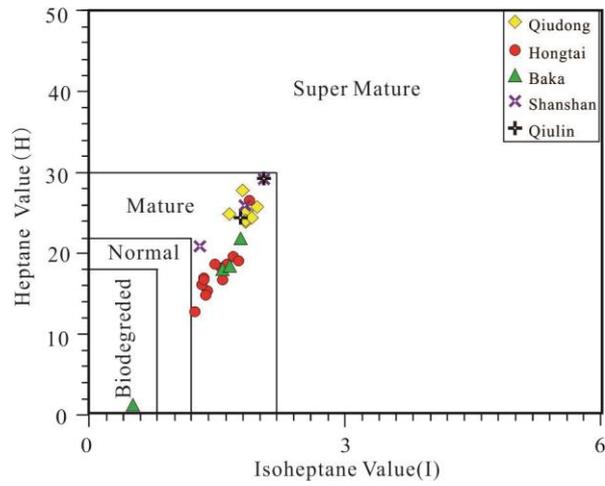


图1 正庚烷和异庚烷值交会图判断原油成熟度

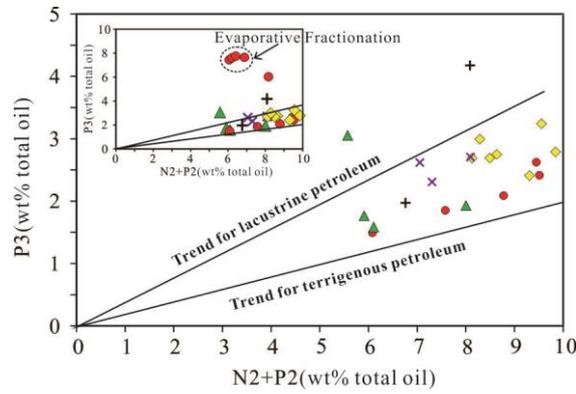


图2 Mango 轻烃参数交会图表明吐哈侏罗系原油具有混源特征

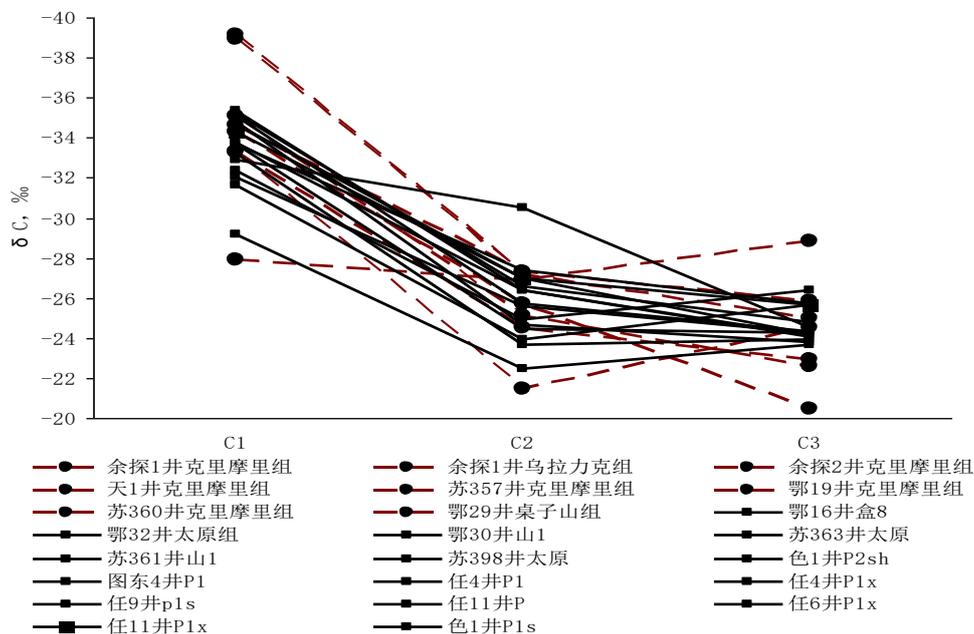
编号: NNGSF010018

鄂尔多斯盆地西部奥陶系气源与成藏规律

赵靖舟¹, 王大兴², 孙六一², 包洪平², 肖晖¹, 吴伟涛¹, 陈永波¹

1. 西安石油大学地球科学与工程学院, 陕西 西安 710065;
2. 中国石油长庆油田公司勘探开发研究院, 陕西 西安 710029

摘要: 近年来, 鄂尔多斯盆地西部奥陶系勘探取得了新突破, 在天环坳陷钻探的余探1、余探2两口井获得产气超过1万方, 还有多口井获得低产气流或油气显示。发现的产气层位主要为克里摩里组, 除此外拉什仲组、乌拉力克组、桌子山组也均有个别井获得低产气流。天然气组分分析表明, 研究区奥陶系天然气干燥系数在0.958~0.986, 全为干气; 而上古生界主要为湿气, 次为干气, 天然气干燥系数为0.913~0.979。就碳同位素而言, 盆地西部无论是上古生界还是奥陶系, 绝大多数天然气的C₁~C₃都呈现出 $\delta^{13}C_1 < \delta^{13}C_2 < \delta^{13}C_3$ 的正序碳同位素分布特征, 反映为单源单期原生气的特征。而且, 大部分样品 $\delta^{13}C_1 > -35\%$ 、 $\delta^{13}C_2 > -28\%$ (图1)。据戴金星(2011)提出的天然气成因鉴别标准, 可以得出盆地西部奥陶系天



基金项目: 国家大型油气田与煤层气开发项目“中国大型气田形成条件、富集规律及目标评价”(编号: 2011ZX05007-004)。

第一作者简介: 赵靖舟, 1962年11月生, 男, 陕西人, 博士, 教授, 主要从事油气成藏地质学、非常规油气地质与勘探研究. E-mail: jz Zhao@xsyu.edu.cn。

图 1 鄂尔多斯盆地西部奥陶系与上古生界天然气碳同位素对比图

天然气与上古生界来源相同，主要为煤成气。其中余探 1 井奥陶系 2 个天然气样品的甲烷碳同位素虽然很轻， $\delta^{13}C_1$ 在 -39.11‰ ~ -38.92‰ ，但其 $\delta^{13}C_2$ 在 -27.26‰ ~ -27.17‰ ，且烷烃气系列碳同位素均呈正常序列，因此同样属于煤成气，其甲烷碳同位素明显偏轻的原因可能与运移分馏作用的有关（图 2）。

以往曾认为盆地西部是鄂尔多斯盆地奥陶系烃源岩最发育的地区，因此可能是该区天然气的重要来源。但本文作者研究认为，尽管西部奥陶系的拉什仲组、乌拉力克组和克里摩里组均有烃源岩分布，但有机质丰度普遍不高。其中泥岩有机碳含量以乌拉力克组为最高，其 TOC 主要分布在 $0.3\% \sim 1\%$ 之间，平均为 0.54% ；其次是克里摩里组泥岩，TOC 以 $0.3\% \sim 0.5\%$ 为主，平均为 0.52% ；拉什仲组泥岩最低，TOC 以 $0.3\% \sim 0.5\%$ 为主，平均为 0.43% 。灰岩有机碳含量同样以乌拉力克组最高，TOC $< 0.3\%$ 为主，其次是 $0.5\% \sim 1\%$ ，平均为 0.35% ；其次为克里摩里组灰岩，同样以 TOC $< 0.3\%$ 为主，平均为 0.31% ；拉什仲组灰岩有机质丰度最低，以 TOC $< 0.3\%$ 为主，其次是 $0.3\% \sim 0.5\%$ ，平均为 0.25% 。对余 3 井、鄂 29 井、余探 1 井和余探 2 井 4 口重点井的奥陶系有机碳实测分析表明，余探 1 井的有机碳相对较高，平均为 0.5% ，余探 2 井的有机碳平均为 0.45% ，鄂 29 井和余 3 井的有机碳较低，平均值分别为 0.4% 为 0.39% 。如此低的有机质丰度，暗示奥陶系烃源岩不可能对天然气藏的形成有显著的贡献。研究区奥陶系天然气表现为煤成气的特征即证明了这一认识。

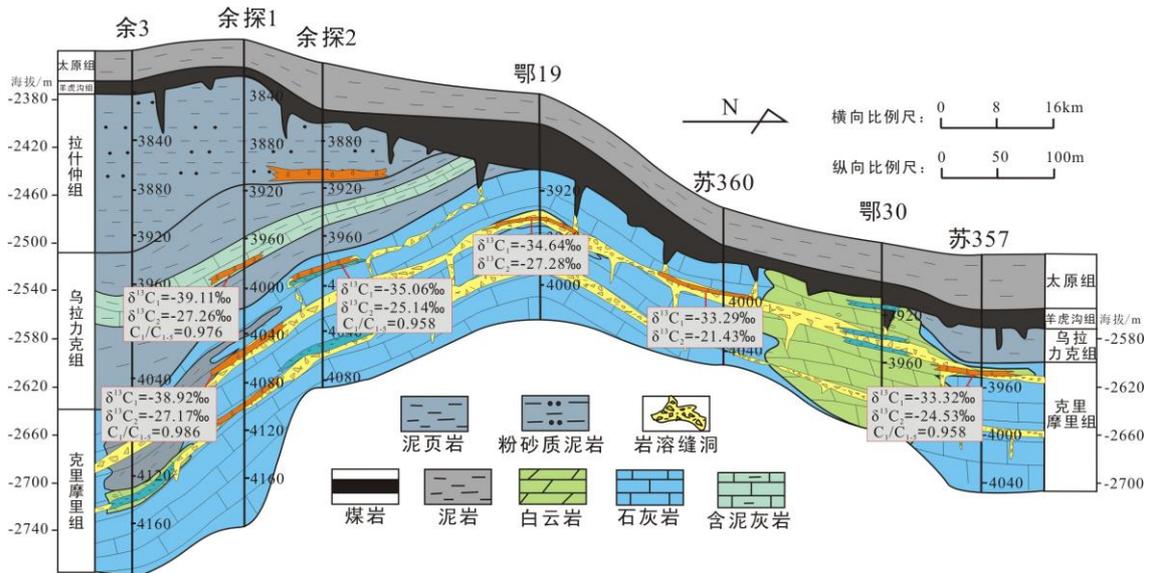


图 2 鄂尔多斯盆地西部苏 357 井—余 3 井奥陶系天然气运移剖面图

综合分析表明，鄂尔多斯盆地西部奥陶系天然气藏的形成和分布主要受构

造、储层、盖层、优质烃源岩及天然气运移通道等 5 大因素控制，天然气主要富集在以下 5 要素的耦合处：斜坡高部位、溶蚀缝洞储层发育带、乌拉力克组—拉什仲组盖层分布区、优质烃源岩有利区及上古生界天然气“倒灌”运移通道发育区。

参考文献

戴金星. 天然气中烷烃气碳同位素研究的意义[J]. 地质勘探, 2011, 31 (12): 1-6

编号: **NGGSF010019**

准噶尔盆地腹部前白垩系古地貌特征及其对油气的意义

卫延召, 杨帆, 卢山, 刘刚

中国石油勘探开发研究院, 北京 100083

摘要: 准噶尔盆地腹部地区侏罗系、白垩系构造背景简单, 背斜圈闭不发育, 油气成藏具有远源、次生的特点, 油气分布规律复杂, 勘探难度大。早期发现的油气田以构造油藏为主, 仅在基东鼻凸东南斜坡上发现两个高效的非构造油藏—X21 油藏和 X31 油藏。之后, 腹部地区侏罗系、白垩系近十年没有大的突破。本文通过对 X31 油藏解剖, 重新厘定了其产层时代, 确定其油藏类型为地层油藏, 圈闭成因与前白垩系残留的古凸起有关。认为腹部地区侏罗系、白垩系油气勘探应重视地层油气藏勘探 (以前认为 X31 油藏属岩性油藏并指导勘探), 重点在于精细刻画前白垩系古地貌, 并分析其对地层油气藏的控制作用。根据“填平补齐”原则, 利用清水河组一段地层厚度镜像反映了研究区前白垩系古地貌, 其基本特征表现为两大隆起区夹持一条近北西—南东向的古凹槽, 古凹槽与古隆起之间存在宽窄不一的斜坡区, 中南部发育一个明显的地形坡折带。综合分析认为斜坡区古凸起及坡折带地层圈闭发育, 成藏条件相对有利, 是地层油气藏的有利勘探区。

卫延召, 1972年2月出生, 男, 河南洛阳, 博士/高级工程师, 矿产普查与勘探(油气勘探), 中国石油勘探开发研究院石油地质研究所, 100083, 办公室电话: 01083592162, 手机: 13910230039, weiyanzhao@petrochina.com.cn

编号: NGGSF010020

流体包裹体方法技术与非常规油气地质研究应用

陶士振, 米敬奎, 庞正炼, 杨 春, 高晓辉, 吴松涛, 张响响, 公言杰

中国石油勘探开发研究院, 北京 100083

摘要: 全球油气勘探发展趋势是逐渐从常规油气向非常规油气扩展。非常规油气是指用传统技术无法获得自然工业产量、需用新技术改善储层渗透率或流体粘度等才能经济开采、连续或准连续型聚集的油气资源(邹才能等, 2012, 2013)。通俗地说, 非常规油气是分布于非常规储层(渗透率极低的储层, 如页岩、煤岩、致密砂岩等)或呈非常规相态(粘度高)的油气资源, 前者包括致密砂岩油气、页岩油气、油页岩等, 后者包括稠油、重油沥青、油砂等。相应地, 常规油气是赋存于常规储层、呈常规相态的油气资源。

1. 流体包裹体与致密砂岩气地球化学演化特征

流体包裹体方法可用于致密砂岩气地球化学示踪, 以四川盆地须家河组致密砂岩气为例, 目前勘探研究面临的科学问题主要有三个方面, 一是须家河组致密砂岩气是幕式充注, 还是连续充注; 二是地史时期的天然气(包裹体中气体)与现今气田气的地球化学差异性; 三是致密砂岩气的运聚机理和富集因素是什么。本次研究是在对包裹体及气藏中气体样品有机地球化学对比分析的基础上(陶士振等, 2003), 结合气藏形成的地质条件, 揭示四川盆地须家河组天然气形成及演化的地球化学特征及富集因素(图 1)。

研究表明四川盆地须家河组中低成熟度煤系烃源岩以生气为主, 生油为辅(戴金星等, 2008, 2009, 2012)天然气组成主要以烃类气体为主, 甲烷含量在 78%~97%, C_2^+ 重烃含量较高, 分布于 2%~19%; 天然气干燥系数(C_1 / C_{1-5})多数小于 0.95, 包裹体中气体甲烷含量较低, C_2^+ 重烃含量更低, CO_2 等非烃含量较高, 为典型的湿气, 主要为干酪根热降解气。气田中天然气甲烷碳同位素较轻, 而乙烷碳同位素较重, $\delta^{13}C_1$ 介于-45.5‰~-36.5‰之间, $\delta^{13}C_2$ 介于-30‰~-25‰之间; 包裹体中甲乙烷碳同位素与气田气基本相近, 总体稍偏重, $\delta^{13}C_1$ =-36‰~

陶士振(1966年1月), 男, 安徽阜阳人, 博士后, 中国石油勘探开发研究院石油地质研究所教授级高级工程师、总地质师, 主要从事岩性地层油气藏、致密油气聚集机理、分布规律与预测评价研究工作。地址: 北京市海淀区学院路20号, 中国石油勘探开发研究院石油地质研究所, 邮政编码: 100083。电话: 010-83598460, 13911082671, E-mail: tsz@petrochina.com.cn

-45‰, $\delta^{13}\text{C}_2 = -24.8\text{‰} \sim -28.1\text{‰}$ (图 1), 表明包裹体中的气体经历的运移和水洗等同位素分馏效应较弱。气田气中 $\delta^{13}\text{C}\text{CO}_2$ 为 $-15.6\text{‰} \sim -5.6\text{‰}$, 包裹体中 $\delta^{13}\text{C}\text{CO}_2$ 总体较轻, $-16.6\text{‰} \sim -9\text{‰}$, 为有机成因气。气田气与包裹体气体地球化学对比分析表明, 包裹体中捕获的气体 CO_2 主要来自烃源岩生成的有机成因 CO_2 , 地层流体中非生物成因 CO_2 混入较少。包裹体捕获气体后, 进入一个相对封闭体系, 一般与外界不发生物质交换, 即不再参与同位素分馏过程, 代表地史时期烃源岩生成天然气的原始状态, 故具有较重烷烃气碳同位素和较轻的非烃 CO_2 碳同位素特征, 气藏解剖和成藏机理研究表明, 非均质性储层渗透率极差控制运聚效率及富集高产, 研究结果对追溯天然气生成演化及运移聚集特征具有一定的示踪意义。

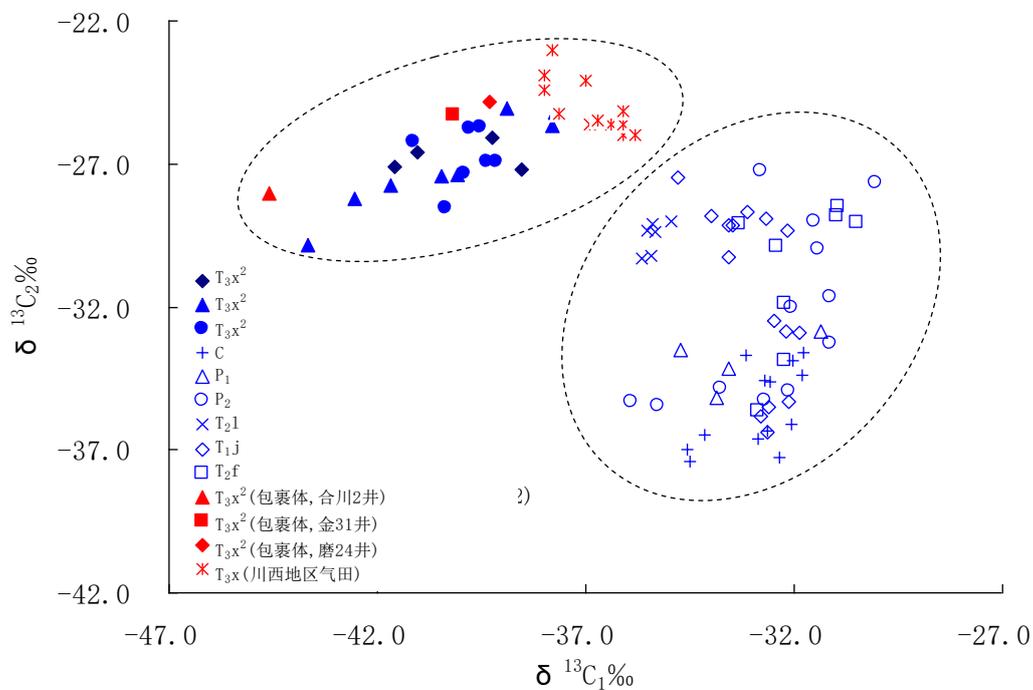


图 1 四川盆地天然气 $\delta^{13}\text{C}_2$ 与 $\delta^{13}\text{C}_1$ 碳同位素组成相关图

2. 流体包裹体与火山岩油气成因成藏示踪

长期以来, 国内外油气勘探主要是针对海相碳酸盐岩和海陆相碎屑岩, 火山岩原来一直是油气勘探的禁区。火山岩油气勘探中需要解决的关键科学问题主要有四个方面, 一是天然气的成因问题, 即天然气是有机成因还是无机成因; 二是天然气的来源问题, 即天然气来自幔源还是壳源; 三是天然气成藏史问题, 包括天然气主要充注时期及其当时地层温度; 四是勘探思路问题, 不同成因和来源的天然气, 勘探靶区预测和优选评价思路明显不同。本文主要运用流体包裹体方法, 通过其物理化学参数、He、Ar、Ne、C 同位素等的测试分析, 结合现今气藏地

球化学分析，研究松辽盆地火山岩中天然气的来源、成因、分布和预测方法，揭示了火山岩天然气地质规律（图2、图3），指出了下一步勘探思路 and 方向。

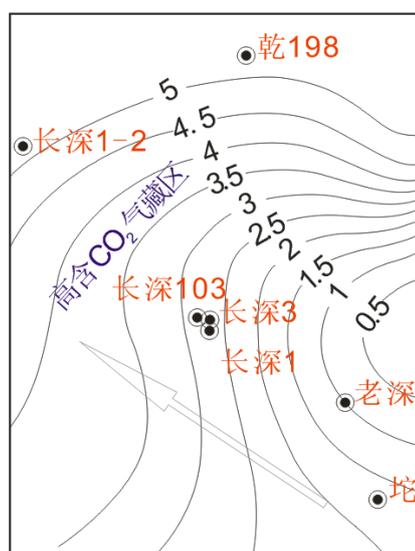


图2 长岭断陷火山岩包裹体 R/Ra

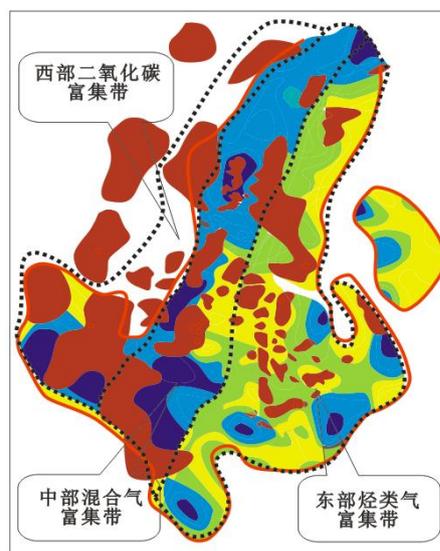


图3 长岭断陷深层天然气区带划分图^①

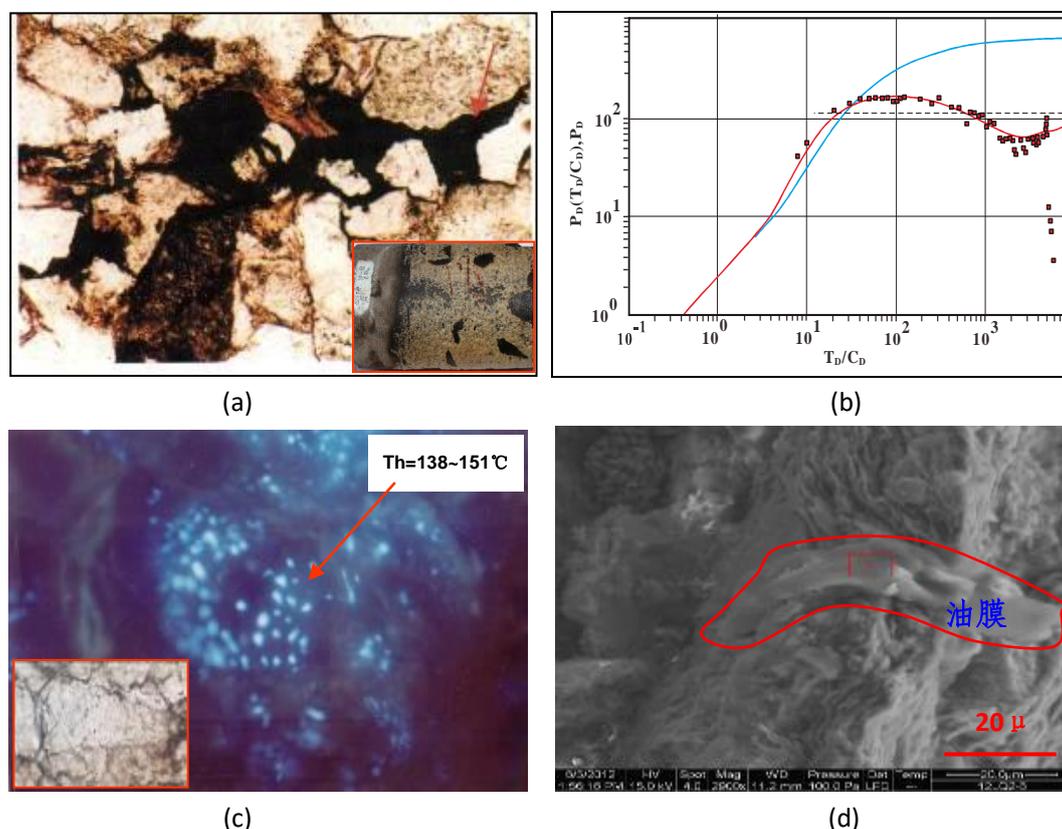
松辽陆内裂谷盆地燕山期由于太平洋板块对中国大陆板块的斜向俯冲，发生弧后伸展裂陷，造成火山岩的大量喷发，以爆发相和溢流相为主。火山岩储层物性较好，不严格受埋深控制，但非均质性强，孔隙度 0.5%-18.7% 不等，渗透率 $0.0001 \times 10^{-3} - 1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。火山岩裂缝内方解石脉或石英脉中包裹体捕获温度为 105—250℃，多数在 120—160℃；包裹体中气体 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值分布在 $2.86 \times 10^{-7} \sim 7.33 \times 10^{-6}$ ，平均为 2.48×10^{-6} ； $\text{R}/\text{Ra} = 0.26 \sim 5.24$ ，多数 $\text{R}/\text{Ra} > 1$ ； $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar} = 293 - 2485$ ，主值区间为 500~900； $^4\text{He}/^{20}\text{Ne} = 0.32 \sim 1255$ ，主值区间为 10~95 和 170~370； $\delta^{13}\text{C}_1 = -17.1 \sim -28.7\text{‰}$ ， $\delta^{13}\text{C}_2 = -23.4 \sim -32.4\text{‰}$ ， $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2} = -10.97 \sim -21.73\text{‰}$ 。包裹体 He、Ar、C 等同位素数据表明，存在幔源通道，进而在火山岩中存在幔源无机成因气（图2、图3）。根据火山岩产状和分布及其与断裂活动的关系，无机成因气藏主要分布于断裂带附近，有机成因气或有机—无机混源气则远离断裂活动带分布。本文包裹体同位素研究结果对确定松辽盆地深层火山岩储层中的天然气成因类型、分布规律，指导后续天然气勘探具有重要的参考价值。

3. 流体包裹体与致密砂（灰）岩油运移聚集特点

致密油运移通道、聚集过程和富集因素等问题一直是勘探和研究的难点，以四川盆地侏罗系石油为例，勘探中面临的科学问题主要有四个方面，一是四川盆地侏罗系石油是裂缝油藏，还是非常规致密油；二是如此致密储层，石油是如何进去的，运移渗流通道是什么；三是先致密后进油，还是先进油后致密；四是致

^①据吉林油田，2007

密油的运聚机理与富集因素是什么，应采取怎样的勘探思路。本文以四川侏罗系为例，通过流体包裹体研究 (Khalidun et al., 2010)，结合场发射和环境扫描电镜、纳米 CT 等技术方法 (图 4)，揭示了致密油地质特征、运移聚集过程和分布规律。



(a) 公 27 井, J2s1, 2464.95m, 中细粒砂岩, 粒间溶孔, $\Phi=3.82\%$, 油侵; (b) 蓬 10 井大安寨油层的压力恢复曲线, 反映孔隙裂缝双重介质 (据西南油气田公司, 2010); (c) 介壳灰岩孔洞方解石胶结物中石油包裹体, 狮 3 井, 大一段, 2791.10m; (d) 环扫电镜揭示致密储层基质孔含油, 龙浅 2 井, J2l2, 1866.4m

图 4 四川盆地侏罗系致密储层孔隙介质含油特征

四川盆地侏罗系发育典型的超致密储层, 孔隙度多数在 5% 之下, 渗透率小于 0.1mD。长期以来, 有关侏罗系油藏是裂缝油藏, 岩性油藏, 还是致密油, 一直存在争议。侏罗系石油具有“超低孔渗、构造平缓、油气分散、聚集度低”特征, 储层平均渗透率在 0.5mD 以下, $\Phi=0.1\sim 5.9\%$, 探明储量丰度 6.0 万吨/ km^2 。过去认为侏罗系为裂缝型油藏, 最新研究认为四川侏罗系灰岩与砂岩储层具有致密油的基本特征和形成条件 (邹才能等, 2013)。本文运用流体包裹体、场发射和环境扫描电镜、纳米 CT 和成藏物理模拟等方法, 从储层微观介质空间含油性、流体包裹体分布及特征、储层演化与生烃演化等研究入手, 开展了侏罗系石油运移、聚集机理和富集规律研究 (图 4), 研究结果表明四川盆地侏罗系油层以致密油为主体, 储层先致密、后发生石油充注, 各种成岩次生微缝、结晶矿物晶间缝隙、微-纳米孔喉等基质缝是致密储层基质中石油运移和渗滤通道, 生烃增压

和毛细管压力差是致密油运聚的主要动力，致密储层具有非达西渗流特征，经历了滞流、非线性渗流和拟线性渗流 3 个阶段，致密油具有源储共控、近源富集、孔缝复合输导、甜点高产的分布规律，指出应该按照致密油的勘探思路，“整体勘探、优选甜点”的原则，实现科学勘探和效益勘探。

流体包裹体由于自身特定的形成机制及其丰富的地质地球化学信息，决定了其在非常规油气地质领域应用的广泛性，在非常规油气生成、运移、聚集过程示踪与分布预测中将发挥越来越重要的作用。

参考文献

1. 戴金星, 倪云燕, 吴小奇. 中国致密砂岩气及在勘探开发上的重要意义[J]. 石油勘探与开发, 2012, 39(3): 257-264.
2. 陶士振, 张宝民, 赵长毅. 流体包裹体方法在油气源追踪对比中的应用——以四川盆地碳酸盐岩大型气田为例[J]. 岩石学报, 2003, 19(2): 327—336.
3. 邹才能, 陶士振, 侯连华, 等. 2013. 非常规油气地质. 北京: 地质出版社, 37-69
4. Caineng Zou, Shizheng Tao, Zhi Yang, Lianhua Hou, Xuanjun Yuan. Development of Petroleum Geology in China: Discussion on Continuous Petroleum Accumulation. Journal of Earth Science, 2013, 24(5): 796-803.
5. Caineng Zou, Zhi Yang, Shizheng Tao, Lianhua Hou, Xuanjun Yuan. Continuous hydrocarbon accumulation over a large area as a distinguishing characteristic of unconventional petroleum: The Ordos Basin, North-Central China, Earth-Science Reviews, 2013, 126: 358-369.
6. Dai Jinxing, Zou Caineng, Zhang Shuichang, et al. Discrimination of abiogenic and biogenic alkane gases. Science in China Series D: Earth Sciences, 2008, 5(12): 1737-1749
7. Dai Jinxing, Ni Yunyan, Zou Caineng, Tao Shizhen, Hu Guoyi, Hu Anping, Yang Chun, Tao Xiaowan. Stable carbon isotope of alkane gases from the Xujiahe coal measures and implication for gas-source correlation in the Sichuan basin, SW China[J]. Organic Geochemistry. 2009, 40(5): 638-646.
8. Khaldun M, Bahruddin S, Rohana A, Hassan Y. 2010. Enantioselective analysis of loxacin and ornidazole in pharmaceutical formulations by capillary electrophoresis using single chiral selector and computational calculation of their inclusion complexes. Analytica Chimica Acta 674, 249-255

编号: NGGSF010021

徐家围子断陷沙河子组致密砂砾岩储层特征及含气性研究

周庆华^{1,2}, 陈践发¹, 郑军卫³

1 中国石油大学(北京)地球科学学院, 北京 102249;

2 中国华电工程(集团)有限公司油气分公司, 北京 100160;

3. 中国科学院兰州文献情报中心/资源环境科学信息中心, 甘肃 兰州 730000

摘要: 致密砂砾岩气藏是世界各国重要的非常规油气田的接替资源, 我国致密砂砾岩气藏储量逐年增加, 全国各大油田几乎都有低渗透的致密砂砾岩气藏储层分布。松辽盆地北部深层致密砂砾岩储层是重要的天然气储集层之一。截至 2010 年底, 松辽盆地北部天然气勘探项目共完钻各类探井 190 余口, 已提交天然气探明地质储量超过 $2000 \times 10^8 \text{m}^3$, 其中 90 余口钻遇沙河子组, 录井显示普遍含气, 试气 17 口, 低产 14 口 (日产气 $249 \sim 55089 \text{m}^3$)。现有钻井和试油成果已充分表明徐家围子断陷致密砂砾岩储层将是松辽盆地万亿方天然气储量目标的重要接替领域。

徐家围子断陷位于松辽盆地北部, 近南北向展布, 受徐西、徐中两条边界断裂控制, 形成复杂箕状断陷, 西部为断裂带, 中部为深凹带, 东部为斜坡带, 南北向长 120km, 中部最宽 60km, 断陷面积 3731km^2 , 是松辽盆地深部规模较大的断陷。徐家围子断陷现今深层构造表现为近北北西走向的东西分带、南北分块的构造格局。在整体构造拗陷的背景下, 发育东西向的宋站凸起、丰乐凸起和近南北走向的安达-升平凸起, 将徐家围子分成安达凹陷、徐西凹陷、徐东凹陷、肇州凹陷。

通过对徐家围子断陷钻井资料的统计, 沙河子组烃源岩是深层最主要的烃源岩。沙河子组烃源岩有暗色泥质岩和煤层, 气源岩分布广、厚度大, 泥岩厚度一般超过 100m, 最大超过 600m, 煤层最大累计厚度 105.5m。其中暗色泥岩分布范围广, 成熟度 R_o 一般 1.5-3.0%, 最大 3.56%, 达到高-过成熟阶段; 氯仿沥青“A”为 0.002%-2.87%, 平均值为 0.022%, 有机碳含量一般 1-4%, 最大 7.86%, 为较好的烃源岩; 煤层在个别井区发育, 成熟度 R_o 一般 1.5-3%, 最大 3.56%, 达到高-过成熟阶段; 氯仿沥青“A”为 0.002%-2.87%, 平均值为 0.022%, 有机

周庆华(1973年-), 男, 黑龙江省大庆人, 高级工程师, 博士, 主要从事油气地质与地球化学研究. Email: zhqh2008@sohu.com

碳含量一般 1-4%，最大 7.86%，为较好的烃源岩（表 1）。根据实际钻井资料结合沉积相、地震资料，徐家围子断陷暗色泥岩和煤层厚度大于 50m 分布的面积为 3291 km²，生气强度大于 20×10⁸m³/km²的面积 1460 km²，总体来看，烃源岩生烃指标好，烃源岩分布面积广、生气强度大，具有形成大面积致密气的物质基础。

表 1 徐家围子断陷沙河子组烃源岩地化数据表

类型	残余有机质丰度				成熟度		综合评价
	氯仿“A”	有机碳	S ₁ +S ₂	氢指数	T _{max}	R _o	
	%	%	mg/g	mg/g	°C	%	
煤层	<u>0.005-2.13</u>	<u>9.78-84.34</u>	<u>0.095-129.5</u>	<u>1.00-105.01</u>	<u>305.0-581.0</u>	<u>1.51-3.56</u>	好气源岩
	0.41(20)	40.16(87)	24.01(55)	37.01(47)	476.02(55)	2.74(98)	高-过成熟
泥岩	<u>0.002-2.87</u>	<u>0.11-7.86</u>	<u>0.02-50.88</u>	<u>1.02-200.07</u>	<u>307.11-595.02</u>	<u>1.27-3.56</u>	好气源岩
	0.29(112)	1.74(318)	3.53(109)	32.02(196)	488.01(119)	2.11(109)	高-过成熟

沙河子组垂向上划分为 5 个三级层序 (SQ1-SQ5)，形成完整的沉积旋回，具有良好的生储盖匹配关系，在陡坡带发育扇三角洲，缓坡带发育辫状河三角洲，前缘相带是最有利的成藏区带。断陷东西两侧各层序砂砾岩储层发育，具备形成大面积致密气藏的基础，层序 2、3、4 位于最大湖泛面附近，成藏条件有利。沙河子组岩性组合与国内典型盆地致密气储盖组合相同，纵向上源储共生，近源聚集，具备形成致密气藏的地质条件。

沙河子组发育砾岩、砂岩、泥岩、煤等九种岩石类型，储层以中砾岩、细砾岩和含砾砂岩为主，砾石成分复杂。岩心分析孔隙度主要分布在 2.0-6.0%，平均 4.3%；岩心分析渗透率主要分布在小于 0.1mD，平均 0.3mD。储层低孔低渗，物性受埋深影响明显（图 1）。单井累计厚度大，储层物性与相带关系密切，整体上前缘相带储层物性好于平原相带，扇三角洲前缘相带最好。砂砾岩有效储层主要受控于颗粒成分、结构、沉积相带及成岩作用主要因素。

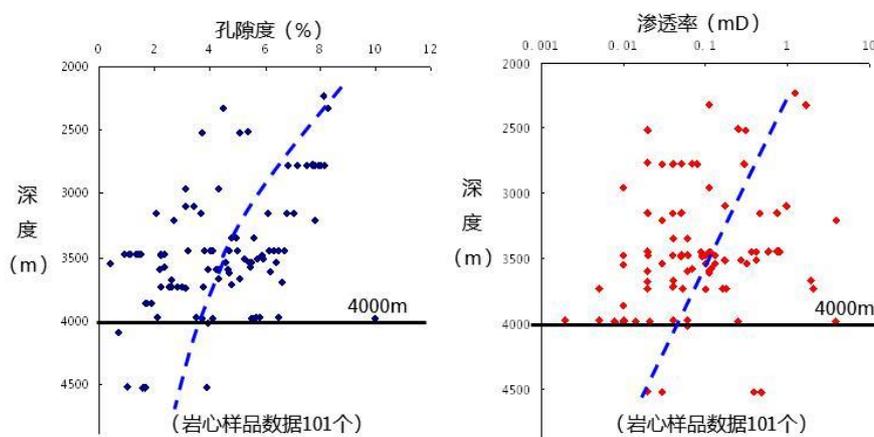


图 1 沙河子组岩心分析孔隙度、渗透率与深度关系图

沙河子组单井上气层发育，气层厚度大，单层主要分布在 5-20m，平均 10.3m，

单井主要分布在 20-50m，平均 33.5m，孔隙度、渗透率较低，储层致密。断陷内部沙河子组地层超压，原因可能是沙河子组源储共生，由于热应力及化学应力作用，干酪根生油气及粘土成岩作用造成流体膨胀产生超压，晚期储层受到压实致密化，使得储层具有形成致密气藏有利条件。

统计各有利区不同层序不同相带钻遇沙河子组井气层厚度与地层厚度比值，用体积法计算该区不同相带平均气层厚度，结合该区岩心与测井标定的平均孔隙度，分层序分相带计算资源量，有利区埋深小于 4000m 的资源量为 2600 亿方。

结合砂砾岩体沉积厚度及含气性特征，采用直井多段压裂及水平井分级压裂技术是沙河子组致密砂砾岩储层增产的有效手段。

参考文献

- 1.戴金星，倪云燕，吴小奇. 中国致密砂岩气及在勘探开发上的重要意义[J]. 石油勘探与开发，2012, 39(3): 257-263.
- 2.张凤奇，王震亮，钟红利，等. 沉积盆地主要超压成因机制识别模式及贡献[J].天然气地球科学，2013, 24 (6): 1151-1158.
- 3.冯子辉，印长海，陆加敏，等. 致密砂砾岩气形成主控因素与富集规律—以松辽盆地徐家围子断陷下白垩统营城组为例[J]. 石油勘探与开发，2013, 40(6): 650-656.

编号: **NGGSF010022**

中国三类页岩气地球化学研究

吴 伟, 戴金星, 董大忠, 黄士鹏, 龚德瑜

中国石油勘探开发研究院, 北京 100083

摘要: 中国在四川盆地, 鄂尔多斯盆地, 准噶尔盆地的海相, 海陆过渡相和陆相三大类富有机质页岩系统中取得了一定的勘探进展, 但是页岩气的地球化学的研究比较薄弱, 本文采集了 40 多口页岩气井的井口气, 分析了组分, 碳、氢同位素, 稀有气体同位素, 轻烃等参数, 并综合对比国内外已经发表的相关页岩气, 系统研究中国三大类页岩气地球化学特征。中国湖相页岩演化程度总体比较低, 以碳同位素正序列为特征, 轻烃和同位素的参数显示系统现今仍为封闭体系, 排气量少, 井口气的碳同位素比部分岩心解吸气的碳同位素要轻很多, 认为资源前景受到高估。海陆过渡相的富有机质页岩岩性相变明显, 鄂尔多斯盆地高过成熟的山西组页岩煤成乙烷同位素倒转并可以轻至-38.1%, 乙烷碳同位素的判别标准在高过成熟阶段需格外谨慎使用, 不能作为下古生界天然气油型气为主要贡献的证据。海陆过渡相的页岩气产量远远低于同层位的致密砂岩气的产量, 也不是现实的勘探领域。四川盆地海相页岩气特别是龙马溪(含五峰)组的页岩气勘探取得了巨大的成功, 以碳、氢同位素完全反序为特征, 从威远、礁石坝和彭水地区的对比来看, 同位素倒转的幅度和页岩系统超压以及高产有密切的联系。页岩气的同位素倒转和二次裂解有关, 也和系统的封闭性有关。长宁-昭通地区甲烷碳同位素重于干酪根的碳同位素且氢同位素异常轻, 认为是地层水参与反映生成的晚期甲烷, 晚期瑞利分馏和地层水参与的氧化还原反应是 Appalachian 盆地深层和四川长宁昭通地区同位素倒转的特殊原因, 也预示着烃类稳定性的极限, 长宁地区筇竹寺组地层贫页岩气很可能与该过程有关。

吴伟, 男, 1987 年 9 月出生, 四川南充人, 在读博士研究生, 主要从事天然气地质与地球化学研究, 中国石油勘探开发研究院, 010-83592209, 449595316@qq.com。

编号: **NGGSF010023**

新疆北部、松辽盆地火山岩岩石地球化学特征及形成环境对比

卫延召, 赵霞, 卢山, 赵忠英, 张黎, 杨帆

中国石油勘探开发研究院, 北京 100083

摘要: 随着油气勘探不断深入以及高精度重磁和地震技术的进步, 2005 年以来中国石油加大了火山岩油气勘探的投入并先后在东部松辽盆地中生界火山岩、新疆北部地区三塘湖盆地和准噶尔盆地上古生界火山岩获得油气勘探重大突破, 初步形成中国东部、新疆北部两大火山岩油气区, 揭示了中国火山岩油气勘探的巨大潜力。火山岩的形成与分布受大地构造环境所制约, 火山岩的物质组成是其形成环境的信息载体。对比研究新疆北部晚古生界、松辽盆地及周边中生界火山岩岩石地球化学及其形成构造环境, 对火山岩油气勘探领域的战略选区、火山岩储层发育规律的把握等具有重要意义。

本文系统采集并分析了准噶尔盆地陆东-五彩湾地区钻井岩心样品及卡拉麦里山白碱沟露头剖面的样品, 收集整理了新疆北部天山地区、三塘湖地区、吐哈地区以及松辽盆地、大兴安岭地区前人研究资料, 对比分析两个地区火山岩的主量元素、微量元素、稀土元素的特征及差异, 结合相对不活泼微量元素的环境判别图解, 对新疆北部石炭系-下二叠统和松辽盆地及周边中生界火山岩的形成构造环境进行综合分析, 取得如下结论和认识:

(1) 新疆北部石炭系-下二叠统、松辽盆地及周边中生界火山岩地球化学特征具有以下共同特征: 不发育典型钙碱系火山岩, 新疆北部以拉斑玄武岩系列为主, 松辽盆地及周边以碱性玄武岩及拉斑玄武岩为主; 主要氧化物含量与 SiO_2 含量之间的协变关系与消减带钙碱性火山岩不一致; 具强不相容元素富集、Nb 负异常、La 正异常、Ba 部分正异常的微量元素分配型式; 轻稀土不同程度富集 (图 1)。

(2) 新疆北部石炭系-下二叠统、松辽盆地及周边中生界火山岩地球化学特征也具有一定的差异性, 松辽盆地以发育碱性玄武岩、具有更显著的强不相容元素富集、轻稀土富集更明显等特点区别于新疆北部地区。同一地区火山岩地球化

卫延召, 1972 年 2 月出生, 男, 河南洛阳, 博士 / 高级工程师, 矿产普查与勘探 (油气勘探), 中国石油勘探开发研究院石油地质研究所, 100083, 办公室电话: 01083592162, 手机: 13910230039, weiyanzhao@petrochina.com.cn

学特征也表现出一定的区域差异,新疆北部火山岩自南向北表现出稀土总量和轻稀土富集程度增加的特点,松辽盆地的稀土总量及轻稀土富集程度也高于相邻的大兴安岭地区(图 1),这些差别可能与不同地区陆壳的性质及固结的程度有关(夏林圻, 2008),与两个地区基底均由多个微地块与周缘褶皱带构成的板块构造背景相符合。

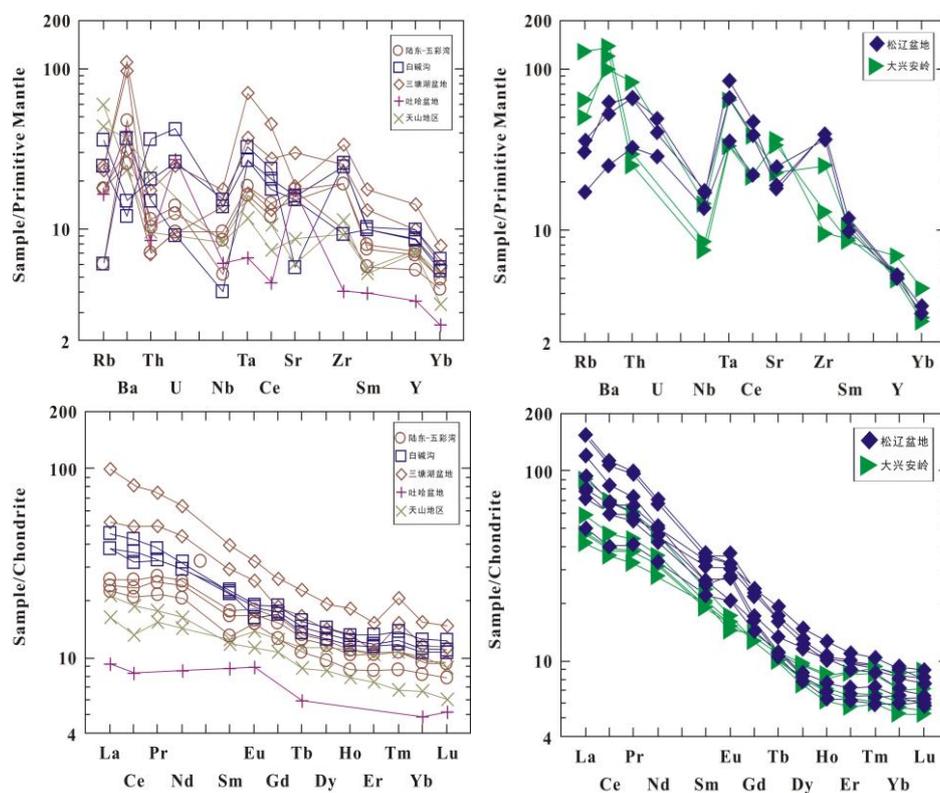


图 1 研究区玄武岩微量元素(上)、稀土元素(下)配分图
(标准化数据引自 Sun and McDonough, 1989)

(3) 不同构造环境玄武岩 TiO_2 -Zr 判别图解和 Nb/U-Nb 判别图解以及不同构造环境花岗岩 Rb-Y+Nb 判别图解和 La/Yb-Yb 判别图解中(图略),两个地区的样品多集中在板内环境与弧火山岩的交界附近,结合主量元素、稀土元素特征,说明新疆北部石炭系-下二叠统、松辽盆地及周边中生界火山岩形成于陆内伸展背景。与活动陆缘弧火山岩有一定的亲缘性,完全不同于洋中脊及洋岛火山岩。

(4) 新疆北部、松辽盆地及邻区同属古亚洲造山区准噶尔-内蒙古-兴安岭褶皱区,是西伯利亚板块、塔里木板块、中朝板块之间古亚洲陆缘增生褶皱带的一部分(图 2),是古亚洲洋在形成、演化和消亡过程中伴随诸多陆块增生、俯冲-消减-碰撞造山和拼合的产物(夏林圻等, 2008; 章凤奇等, 2009)。新疆北部石炭系-下二叠统、松辽盆地上侏罗统-下白垩统火山岩地球化学特征表明两个地区火山岩形成背景同属古亚洲洋造山区后碰撞伸展盆地,并且均已发现自生自储式

火山岩油气藏，揭示了准噶尔-兴蒙古亚洲洋造山区后碰撞伸展盆地火山岩油气藏勘探前景。

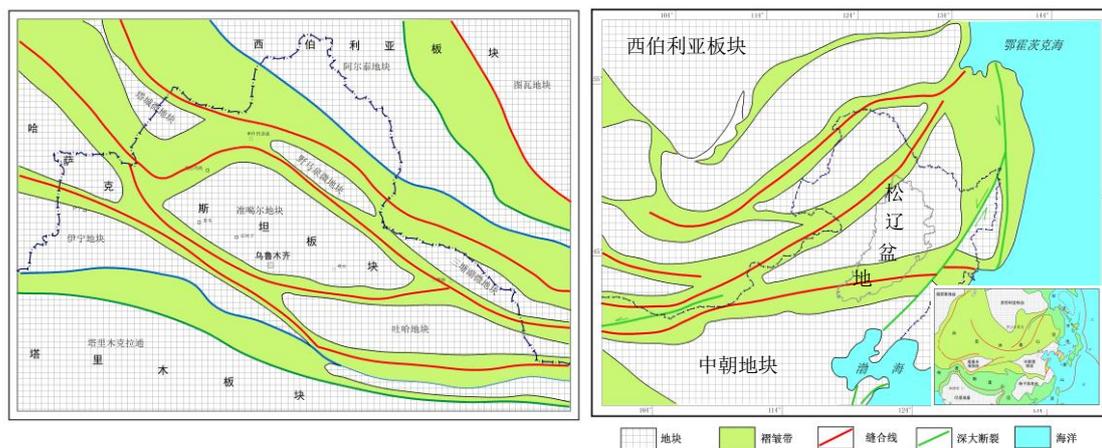


图2 新疆北部、松辽盆地及周缘大地构造纲要图

参考文献:

夏林圻等, 2008, 天山及邻区石炭纪-早二叠世裂谷火山岩岩石成因, 西北地质 41(4): 1-68

Sun S S, McDonough W F, Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes[M]// Saunders A D, Norry M J, Magmatism in the Ocean Basin. Geological Society Special Publication, 1989, 42:313-345

章凤奇等, 2009, 松辽盆地东南缘晚中生代火山事件的锆石年代学与地球化学制约, 岩石学报 25(1): 39-54

编号: NNGSF010024

双河背斜九佛堂组二氧化碳成因及开发对策

谷 团

中国石油辽河油田公司勘探开发研究院, 辽宁 盘锦 124010

摘要: 双河背斜位于奈曼凹陷, 是近年来辽河油田在外围中生代盆地群中发现的较为整装含油气构造, 含油气目的层为白垩系下统九佛堂组, 探明储量规模 2000 万吨。目前已钻探各类井 200 余口, 年产油 8 万吨左右。在该油田开发生产过程中, 发现九佛堂组油层中伴生有 CO_2 。含量 1.28%~96.02%, 平面上分布较为分散, 呈现出“西南低、东北高”的特征, 三口井产出高含量的 CO_2 的井均位于东北部: 最高为 56-62 井, CO_2 含量 96.02%。52-62 井 CO_2 含量 95.01%, 48-58 井 CO_2 含量 90.93%。

有机成因二氧化碳的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2} < -10\%$, 无机成因二氧化碳的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2} \geq -8\%$, 来源于上地幔的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ 介于 $-8\% \sim -4\%$, 来源于地壳或地幔楔形体熔融脱气的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ 介于 $-10\% \sim -4\%$ 。双河背斜所产出的二氧化碳 $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ 峰值位于 $-7.0\% \sim -2.0\%$ 之间。说明该区 CO_2 为无机成因, 应主要为幔源成因。与 CO_2 相伴生的烃类气体碳同位素呈正碳同位素系列, 即 $\delta^{13}\text{C}_1 < \delta^{13}\text{C}_2 < \delta^{13}\text{C}_3 < \delta^{13}\text{C}_4$, 说明烃类气体属有机成因。以 $\delta^{13}\text{C}_2 = -28\%$ 和 $\delta^{13}\text{C}_3 = -25.5\%$ 作为煤成气与油型气的界限, 结合各种天然气成因划分的典型图版, 综合研究后得出烃类气体为油型气。利用前人建立的油型气 $\delta^{13}\text{C}_1 - \text{Ro}$ 的关系式, 计算出奈 1 区块天然气成熟度 Ro 主要分布在 $0.56\% \sim 0.7\%$ 之间, 表明天然气属成熟度较低的原伴生气。这说明该区油气田中烃类组分与 CO_2 的来源不一致, 二者属于混合成藏。初步分析表明, 二氧化碳成藏的主控因素为即深部基底大断裂及中生代蓝旗组火山活动。

由于 CO_2 对管材的腐蚀作用较强, 对现场安全生产造成了一定的影响, 在开发生产过程中, 首先依据测井资料识别含 CO_2 层段, 投产射孔时, 尽量避射含 CO_2 层段, 从而有效避免了对油井生产的影响。含 CO_2 层段的测井资料具有较为明显的特征: 视电阻率曲线表现出整体高阻背景下的低阻段, 时差曲线表现出低值背景下的高阻段, 密度曲线表现出高阻背景下的低阻段。

谷团, 1972 年 8 月生, 男, 河北昌黎人, 博士, 高级工程师, 目前从事油藏地质综合研究工作, 辽河油田勘探开发研究院, 辽宁省盘锦市 (124010), 电话 13904270211, gutuan@petrochina.com.cn.

塔里木盆地深层两类天然气

朱光有

中国石油勘探开发研究院, 北京 100083

摘要: 塔里木盆地烃源岩和储集层埋藏深, 决定了天然气是重要的勘探对象。天然气主要来自于海相古油藏的裂解成气和陆相煤系烃源岩生气。

(1) 海相原油的稳定性与裂解成气

原油的稳定性是研究的一个热点, 多数学者认为原油在温度大于 160°C 时开始裂解。而随着向深层油气勘探的进展, 一些油藏在远大于此温度条件下依然以油相大量存在, 原油的稳定性可能比预期的要高很多。塔里木盆地现今是一个“冷盆”, 现今地温梯度为约 20°C/km。本次针对塔里木盆地海相原油的金管模拟实验表明, 原油在 180°C 恒温埋藏条件下, 达到 51% 的转化率需 52.8Ma; 而在一般持续埋深条件下 (2°C/Ma), 达到同样的裂解程度, 需要时间要大于 100Ma。显然, 相比正常条件下的持续埋深, 高温条件下的稳定埋藏更有利于原油的裂解。塔里木盆地与四川盆地对比可以发现, 塔里木盆地是在最近 5Ma 以来达到最大埋深, 而四川盆地在白垩纪中期就已达到了历史最大埋深, 因此, 四川盆地原油裂解程度很高, 与长期高温深埋有密切关系。

根据塔里木盆地低地温梯度和晚期快速深埋过程的补偿效应研究, 塔里木盆地原油开始裂解的深度约 7500m, 而大规模裂解应在 9000~9500m; 认为液态石油大量消亡 (油裂解成气) 的储层温度大于 210°C, 在 9000m 深度之上液态石油可以大量存在。中深 1 井的钻探结果以及塔北哈拉哈塘地区海相油气的勘探资料都证实了塔里木盆地原油的热稳定性可能需要储层温度较高这一认识, 这也将极大地拓展了塔里木盆地深层海相石油的勘探潜力。而目前奥陶系发现的大量凝析气, 则来自于 9000m 以下深层的古油藏裂解。从中深 1 井来看, 下寒武统气藏中 $\delta^{13}\text{C}_1$ 值较重, 为 -42.1‰~-40.62‰, $\delta^{13}\text{C}_2$ 为 -35‰。由于中深 1 井寒武系天然气聚集在中寒武膏盐层下, 不可能来自其上覆地层中烃源岩生成的烃类, 即 ZS1 井寒武系天然气主要为中下寒武统原油裂解形成的气体。ZS1 井是塔里木盆地第一口在寒武系发现海相油气流的井, 它的发现, 揭开了一个新的勘探层系, 将塔里木盆地油气勘探深度向下延伸至 10000m; 同时证实继承性古隆起中下寒武统具备形成大气田的基本石油地质条件。因此, 塔里木盆地海相深层天然气存在巨大勘探潜力。

(2) 库车深层煤成气

最近在塔里木盆地库车坳陷西部博孜地区埋深超过 7000m 的白垩系砂岩储集层中获得高产工业油气流，日产油 30m³，日产气 245040m³，这是中国目前发现的最深陆相来源的工业油流井；通过该井的分析，可以客观认识库车深层天然气的资源潜力。

博孜1气藏天然气具有甲烷含量高、非烃含量低的特点。甲烷平均含量 89.13%，C₂⁺含量很小，N₂含量低，平均0.88%，CO₂平均含量0.36%。气油比为 8620 m³/m³，与迪那2气藏平均气油比10448 m³/m³相比更低，为典型凝析气特征，明显不同于克深2井区干气藏。博孜1原油的碳同位素组成很重，全油δ¹³C分布在 -25.81‰，饱和烃δ¹³C为-26.99‰，芳烃δ¹³C为-25.28，与源于侏罗系煤成油（羊塔克、依南等）一致，而与湖湘成因的英买力油田和海相成因的油气差异非常明显。因此，主要来自侏罗系煤系烃源岩。与邻区大北气田、克深气田和克拉2气田相比，博孜气田天然气中重烃含量相对较高，天然气明显偏湿，天然气干燥系数为90%左右；而大北气田、克深气田和克拉2气田天然气干燥系数均大于97%，C₄⁺含量小于0.5，说明二者天然气成熟度存在明显不同。从天然气碳同位素组成来看，博孜气田天然气烷烃气碳同位素相对较轻，甲烷为-35.3‰，乙烷在-23.3‰。甲烷、乙烷碳同位素的差值大于10‰。与成熟度很高的克拉2气田相比，甲烷、乙烷碳同位素明显偏轻。从天然气组分与同位素组成来看，埋藏较深的博孜气田反而比埋藏较浅的大北气田、克深气田和克拉2气田天然气偏湿、同位素偏轻，说明博孜气田天然气成熟度相对偏低，大北气田、克深气田和克拉2气田等天然气来自于更深部位，也就是说库车深层煤成气以及致密气和页岩气资源十分丰富。

通过以上两口代表性井的分析，论证了目前在 7000 左右发现的天然气，均来自于深层，也就意味着深层天然气的资源潜力巨大，勘探领域广阔。

编号: NGGSF010026

四川盆地震旦系古油藏与现今气藏的信息 载体—储层沥青

刘 丹¹, 谢增业^{2,3}, 李 剑^{2,3}

1. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083;
2. 中国石油天然气集团公司天然气成藏与开发重点实验室, 河北 廊坊 065007;
3. 中国石油勘探开发研究院廊坊分院, 河北 廊坊 065007

摘要: 近年来, 四川盆地在川中震旦系多口井获得百万方工业气流的重大突破, 展示了震旦系巨大的天然气勘探前景。但四川盆地震旦系地层古老, 烃源岩演化程度高, 应用正演方法对其进行评价难度较大。为划定古油藏范围, 圈定有利勘探区, 可采用古油藏裂解残留的储层沥青作为突破点, 反推古油藏分布有利区。储层沥青生物标志物未检测到标志降解成因的 25-降藿烷, 显微镜下观察也显示 85%以上样品沥青充填于溶洞中, 结合川中震旦系烃源岩热演化史, 验证了沥青的热裂解成因。震旦系沥青含量纵向上灯四段最高, 向下逐渐降低, 平面上古隆起核部最高, 向斜坡带及坳陷带逐渐降低, 与富气带分布规律相一致。将震旦系沥青含量分布与震旦系顶部古构造叠合, 可确定古油藏范围, 古油藏边界为沥青含量>2%、古构造-1500m 等值线, 对震旦系下步天然气勘探部署决策具有重大的指导意义。

基金项目: “十二五”国家科技重大专项(中国石油天然气集团公司天然气成藏与开发重点实验室项目)
(编号: 2011ZX05007-002)

第一作者简介: 刘丹, 女, 1986 年生, 河北廊坊人, 在读博士, 主要从事天然气地球化学研究工作。
电话: (010) 83592209。Email: liudan829@163.com

天然气地球化学实验技术研究进展

胡国艺

中国石油勘探开发研究院, 北京 100083

摘要: 近十几年来, 随着我国天然气工业的快速发展, 天然气地球化学实验技术发展也非常快, 主要表现在天然气生成模拟技术、同位素测定技术以及组成分析技术等方面。

天然气氢同位素分析方法主要有离线分析法和在线分析方法。离线分析是在20世纪90年代之前国内外实验室普遍采用的氢同位素分析方法。但由于离线分析工序繁多、重复性差, 同时利用锌等金属还原水蒸气制备 H_2 的过程中, 可能因为锌等催化剂不能使水完全还原成 H , 存在着氢同位素的分馏等原因, 因而天然气氢同位素我国在90年代中后期处于停滞状态。美国Thermo Finnigan公司于1998年制造的GC/TC/IRMS色质谱联用仪实现了有机物单个分子氢同位素的在线分析, 我国主要实验室陆续在2000年后大量引进GC/TC/IRMS色谱质谱仪, 进行油气单体氢同位素分析。但在天然气单体氢同位素分析中存在着一个重要的问题是国内没有天然气标样, 使得各家实验室测定的数据没有可比性, 戴金星等(2012)联合国内外10家知名实验室建立了三个符合国际标准规范要求的天然气组分氢同位素工作标样(NG1-煤型气、NG2-生物气、NG3-油型气), 并申请为国家一级标准物质, 这项工作对促进天然气氢同位素的研究具有标志性重要的意义。

除了天然气单体氢同位素分析技术之外, 在天然气中非烃气体同位素和稀有气体同位素等分析技术方面也取得了一些进展。建立了天然气中 CO_2 的氧同位素和稀有气体He、Ne、Ar、Kr、Xe全组分含量和同位素分析技术系列。

在天然气组成分析中以前主要测定是天然气主要组分 C_1-C_5 和非烃气体(CO_2 、 N_2 和 H_2S), 近几年在天然气中轻烃组成(包括气源岩)分析及应用方面进展非常大, 对杂原子化合物如硫醇等方面也开展了一些研究。

天然气生成的碳同位素动力学方法、技术及应用被认为是近年来天然气地球化学领域的最大进展之一, “十五”期间中国科学院广州地球化学研究所与美国加州理工学院能源与环境研究中心唐永春教授合作, 引进和开发了生烃动力学黄金管模拟实验技术, 这项生烃动力学实验研究方法及设备在国内推广应用。实验技术的进步是天然气地质学研究和勘探突破的主要动力之一。未来天然气地球化学实验技术的发展将围绕深部油气和非常规油气两个重要的勘探领域开展工作, 钻井过程中气体的实时监测、岩石中的轻馏分定量以及页岩含气性的预测等技术将成为发展的方向。

编号: **NGGSF010028**

碳酸盐岩储层微区地球化学分析技术的发展及应用

胡安平^{1,2}, 李秀芝^{1,2}, 蒋义敏^{1,2}, 胡圆圆^{1,2}, 张杰^{1,2}

1. 中国石油杭州地质研究院, 浙江 杭州 310023;
2. 中国石油天然气集团碳酸盐岩重点实验室, 浙江 杭州 310023

摘要: 碳酸盐岩成岩过程和孔隙类型复杂, 储层物性特征变化大, 岩石结构组分、世代胶结物和交代物也比较复杂多样, 因此对碳酸盐岩储层研究提出挑战。微区地球化学研究方法就是应碳酸盐岩储层研究需要而发展起来的一套综合研究方法, 其也是今后碳酸盐岩储层研究的重要发展方向。其中微区元素分析和微区同位素分析是近年来在储层地球化学研究领域中的热点和焦点, 微区元素分析技术已形成了从主量和次量组分到痕量和超痕量组分分析的一个完整技术体系, 包括电子探针 (EMPA)、扫描电镜 (SEM) 及核探针 (SNM), 同步 X-射线探针 (SRXRM) 和二次离子探针质谱 (SIMS) 以及激光溶蚀等离子质谱仪 (LA-ICP-MS) 等; 碳酸盐岩微区同位素分析技术主要介绍了激光显微取样 C、O 同位素分析技术、多接收激光等离子质谱分析技术 (LA-MC-ICP-MS) 和热电离子同位素比质谱分析技术 (TIMS)。通过 2 个实例的剖析, 说明了微区地球化学研究方法在碳酸盐岩储层研究中的重要意义, 并指出微区多参数地球化学研究方法将是碳酸盐岩储层研究的重要发展趋势。

关键词: 碳酸盐岩; 微区元素; 激光 C、O 同位素; 微区 Sr 同位素; 微区多参数地球化学

胡安平(1982-), 女, 浙江天台人, 博士, 主要从事储层地球化学和天然气地球化学研究. E-mail: huap_hz@petrochina.com.cn.

我国天然气工业现状及发展战略

李 剑^{1,2}

1. 中国石油勘探开发研究院廊坊分院, 河北 廊坊 065007;
2. 中国石油天然气集团天然气成藏与开发重点实验室, 河北 廊坊 065007

摘要: 新世纪以来, 我国天然气进入快速发展时期, 消费快速增长, 储产量保持增长高峰, 基础设施建设快速推进, 市场化建设取得积极进展, 多元化供气格局基本形成。

国内天然气资源丰富, 新一轮资源评价常规天然气资源量 $56 \times 10^{12} \text{m}^3$, 初步估算非常规天然气资源量 $100 \sim 200 \times 10^{12} \text{m}^3$, 具备快速发展的资源基础。截止 2013 年底累计探明地质储量 $9.6 \times 10^{12} \text{m}^3$, 资源探明程度 17%, 天然气勘探尚处于早中期阶段。近年来在前陆盆地、碳酸盐岩、致密砂岩气和火山岩四大领域勘探相继取得了重大突破和进展, 落实了苏里格、高石梯-磨溪、库车、四川须家河等四个万亿方和一批千亿方以上大气区。其中高石 1 井获得重大突破, 高效探明我国规模最大的整装气田—磨溪龙王庙组大气田 (探明储量 $4403.83 \times 10^8 \text{m}^3$), 煤层气、页岩气等非常规天然气也发展迅猛。目前共探明 52 个大气田, 储量 $8 \times 10^{12} \text{m}^3$, 占总量的 83% 以上。中国天然气勘探正处于大气田的快速发现期。

2013 年天然气产量达到 $1181 \times 10^8 \text{m}^3$, 也进入高速增长期, 全国已形成新疆、长庆、川渝、青海、东北和海上六大区, 建成年长庆、新疆、川渝三个年产量大于 $100 \times 10^8 \text{m}^3$ 的气区和青海、东北两个 $50 \times 10^8 \text{m}^3$ 的气区。

2000 年以来, 我国天然气消费进入快速发展阶段, 消费量由 2000 年的 $245 \times 10^8 \text{m}^3$ 快速增长到 2012 年的 $1471 \times 10^8 \text{m}^3$, 年均增长 16.1%, 占一次能源消费的比例由 2000 年的 2.2% 增长到 2012 年的 5.4%, 天然气市场开始由启动期进入快速发展期。但是, 中国天然气供需矛盾日趋突出, 从 2006 年开始成为天然气净进口国之后进口量逐年攀升, 2012 年进口量达到 $424 \times 10^8 \text{m}^3$, 对外依存度达到 28.8%, 比上年增加 4.8 个百分点。

我国已形成国产气、进口管道气和进口 LNG 并存的多气源供气格局。天然气管网建设进入快速发展时期, 截至 2012 年底, 干线管道长度达 5.5 万公里, 初步形成以西气东输、西气东输二线、陕京线系统、川气东送等管道为骨干的管网系统, 管输能力超过 $1600 \times 10^8 \text{m}^3/\text{年}$; LNG 接收站建设快速推进, 已建成 6 座 LNG 接收站, 接收能力 1880 万吨; 储气库建设起步较晚, 建成大港、京 58 和金坛等 5 个储气库 (群), 累计工作气量 $21 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

通过对我国天然气工业发展现状及未来增长趋势研究提出下一步我国天然气发展战略：在立足国内天然气供应基础上，积极拓展海外业务，形成覆盖全国的天然气管网系统，构建合理的天然气安全供给体系，实现供气多元化、输配网络化和运行安全化；同时天然气勘探开发对象越来越复杂，勘探难度越来越大，今后应继续加大大气田成藏理论研究和勘探开发技术攻关力度，为天然气快速发展提供保障。总体上，未来 20 年我国天然气仍处于大发展阶段，到 2030 年天然气供应量达到 $1.5 \times 10^8 \text{m}^3$ ，其国内天然气产量 $1.2 \times 10^8 \text{m}^3$ ，引进海外气 $0.3 \times 10^8 \text{m}^3$ ；管道和储备规模能够全面保障平稳供气需求。

编号: **NGGSF010030**

我国油气工业上游科技发展对策建议

郑军卫¹, 孙德强², 赵 凡³, 王立伟¹, 李小燕¹

1. 中国科学院兰州文献情报中心, 甘肃 兰州 730000;
2. 中国科学院科技政策与管理科学研究所, 北京 100190;
- 3 中国石油勘探开发研究院西北分院, 甘肃 兰州 730030

摘要: 油气资源是国家重要战略资源, 是影响和制约全球经济持续发展的重要因素。以公众可负担得起的价格保障油气资源的稳定供应, 将是保证国家经济、社会和环境协调可持续发展的前提, 也是当前和未来相当一段时期内世界主要国家所面临的主要问题。随着中国经济社会的持续高速增长, 能源消费总量不断刷新, 对油气资源的需求量也不断增加。2012年, 中国一次能源消费总量比2011年增长7.6%, 达到27.35亿toe, 占全球消费总量的21.9%, 居世界第一。油气资源科技作为一种重要因素, 在推动油气工业发展和保障国家油气供应方面发挥着重要作用。基于中国油气资源供需形势、世界油气资源科技发展趋势等研究, 从油气资源科技发展的战略方针、战略目标、战略措施和对策建议等方面对中国油气工业上游科技发展对策进行了系统分析, 提出以下建议: ①大力发展油气地质学基础理论, 拓展勘探领域; ②加快发展油气资源探测技术, 提升勘探效率; ③着力发展油气资源开采技术, 增加开发效果; ④稳步发展油气勘探开发仪器装备, 突破制约瓶颈; ⑤积极发展海外油气战略储备技术, 增强国际竞争力。

关键词: 油气资源; 油气资源科技; 发展对策; 中国

编号: **NGGSF010031**

2012 年世界油气勘探新发现及发展趋势

赵 喆, 张光亚, 梁 涛, 梁英波, 李宏伟

中国石油勘探开发研究院, 北京 100083

摘要: 深水和非常规油气的快速发展, 改变了原有的世界油气供给格局。总结和梳理年度油气勘探新发现和分布特征是了解世界油气供给格局特点、研判世界油气未来发展趋势的主要手段之一。2012 年海洋新发现油气储量占全年新增储量的 90%, 东非和南美东部海域成为世界最主要油气储量增长区, 南里海和东地中海等油气热点潜力地区勘探不断突破, 北极巴伦支海等油气战略接替区勘探进展提速, 美洲非常规油气供给带初步形成。发展关键技术、加大深水风险勘探力度、持续拓展非常规油气成为未来世界油气领域的主要发展方向。

关键词: 油气格局; 深水; 非常规油气; 勘探新发现

编号: **NGGSF010032**

Bowen 盆地煤层气资源量/储量计算方法

夏明军, 蔡冬梅

中国石油勘探开发研究院, 北京 100083

摘要: Bowen 盆地是澳大利亚东部石炭-二叠系煤沉积盆地, 纵向上发育三套主要煤组: Moranbah、FortCooper、Rangal (Bandanna、Baralaba), 属于中煤阶煤层气, 吨煤含气量平均 7.4 方到 13.2 方, 渗透率 0.1md 到 900md, 单井测试日产 1700 方到 28600 方。

资源量/储量计算采用容积法, 可采资源量/储量=面积×净煤厚度×煤的密度×含气量×甲烷百分比×采收率。储量级别标准 P1 面积为现有生产井外推一个井距。P2 面积为成功的先导试验井周围 7×7 井距范围, 或 1P 面积周围外推 2 个井距, 如有邻近井数据可以适当外推。P3 面积为 2P 的范围外推 3 倍井距。

夏明军, 出生日期 1975 年 1 月 20 日。中国石油勘探开发研究院博士, 中原油田工作站博士后, 高级工程师, 目前在中国石油勘探开发研究院工作。

蔡冬梅, 出生日期 1978 年 12 月 28 日。高级工程师, 目前在中国石油勘探开发研究院中亚俄罗斯研究所工作。

编号: **NGGSF010033**

不同类型天然气藏探明储量评估要点及原则

杨桂茹, 孙广伯, 徐小林, 鞠秀娟, 赵丽华

中国石油勘探开发研究院廊坊分院, 河北 廊坊 065007

摘要: 不同类型气藏的成藏控制因素不同, 导致气藏储量的评估要点不同。通过对中国不同类型气藏储量评估实例的解剖, 系统总结了构造气藏、岩性气藏、地层气藏及复合气藏储量评估关键点和储量评估中适用的可靠技术。研究表明: 构造气藏成藏控制因素单一, 评估要点以构造可靠性评估为要点, 构造精细解释技术是储量评估的可靠技术; 岩性气藏成藏控制因素通常较为简单, 地震储层预测技术可以作为储量评估的可靠技术, 但需要足够的钻井资料证实储量预测可靠性; 地层气藏的顶面构造形态复杂、空间几何形态复杂, 往往伴随岩性复杂(生物礁、火山岩、碳酸盐岩风化壳), 气藏控制因素多, 评估难度大, 目前尚缺乏可靠的评估技术, 应谨慎评估。对于复合气藏应进一步确定气藏的主要控制因素, 厘清涉及储量评估的要点问题, 在没有较多类比气藏的情况下, 应谨慎评估。

关键词: 天然气; 探明储量; 储量评估; 要点和原则

编号: **NGGSF010034**

牙哈凝析气田气窜模式与调控技术

苗继军¹, 王永红¹, 李旭², 孙太荣²

1. 中国石油休斯敦技术研究中心, 北京 100007;

2. 塔里木油田, 新疆 库尔勒 841000

摘要: 牙哈凝析气田经过 11 年的循环注气部分保压方式开采, 各项开发指标均优于开发方案, 取得了非常好的开发效果, 但近年来气窜井逐渐增多, 控制气窜、稳定气油比成为气田开发调控的主要目标。基于牙哈凝析气田注入气在地层中的流动主要遵循组分梯度理论的认识, 通过生产动态监测、示踪剂监测与井间调控以及修井测试等方法和技术, 分析总结出现有注采井网下存在低注高采、高注低采和跨高点两翼注采等 3 种气窜模式, 并以此基础开展控窜措施试验, 通过优化注采井网和封堵上部生产层段的方法, 使得气油比上升速度得到有效控制, 达到了凝析油稳产的目的。

关键词: 凝析气田; 循环注气; 气窜; 气油比; 重力分异

苗继军(1977-), 男, 陕西佳县人, 高级工程师, 博士, 主要从事油气勘探开发研究.
E-mail:miaojijun@petrochina.com.cn.