

# 中国含油气盆地的变格与特征

郭 占 谦

(大庆石油管理局勘探开发研究院)

**摘 要** 中国陆壳有其自身独具的特殊性。中国陆壳的核心中国地台是全球九大地台中规模最小并沿纬向延伸的一个；泛大陆形成后由于太平洋板块的生成及印度洋的扩张，中国陆壳处于四面受挤的地球动力环境之中。中国大陆岩石圈出现下拱上张的应力反应，使中国大地构造格局出现以断裂运动为特征的断块构造性质，并使中国含油气盆地的成盆机制从前侏罗纪的大洋张开与闭合的槽台体制转变为大陆张开与闭合的裂谷体制，构造格局从前侏罗纪东西向延伸的纬向构造转变为侏罗纪以来东部出现北北东向延伸的经向构造，沉积格局从前侏罗纪的海相沉积为主转变为侏罗纪以来以陆相为主。中国含油气盆地呈现一个转折、两个世代、三种变格，含油气盆地分为东西两大部分、四个群落，使中国含油气盆地具有沉积岩与火山岩共有的水火二元结构地层格架和深断裂控制盆地及内部构造格局，两种物质来源又带来多种资源、多种生烃模型与深断裂控制油气田分布等石油地质特征。

**关键词** 特殊性 变格 特征与模型

## 前 言

国外一些地质学家将中国含油气盆地统称为复杂型或中国型盆地，以示与其他大陆含油气盆地的不同；近年来国内不少专家对复杂的中国含油气盆地开始予以关注。西北大学赵重远与刘池阳教授称之为改造型盆地。

毛泽东曾在《矛盾论》中指出：“各种物质运动形式中的矛盾，都带特殊性。...这种特殊的矛盾，就构成一事物区别于他事物的特殊本质。”研究中国含油气盆地，若从中国含油气盆地所处地壳块断的特殊性入手，研究其地层格架、构造格局、油气生成格式、油气资源格式与油气分布格式的时空演化，可能反映出中国含油气盆地的特色，显示其与众不同的风格。据此，笔者试从上述诸方面与同行讨论中国含油气盆地石油地质特征，并称之为中国含油气盆地的变格。

## 一、中国陆壳的特殊性

地壳结构是地球发展过程中不断变动的演化结果，是盆地分布与类型以及沉积盆地结构特征的控制因素。正如著名石油地质学家 H.O. 布罗德所指出的：“只有对一部分地壳在地质发展历史进程中所经历的全部加以考虑以后，才能够对整个盆地或其个别部分进行彼此之间的比较评价。[1]”

### 1. 中国陆壳的核心——中国地台是全球九大地台中面积最小的一个

地球形成以后，地球外壳——岩石圈的张开形成了地槽与地台，全球出现了九个地台型的大陆地壳。在全球九个地台区中，中国地台区是最小的一个（图 1）[2]。

北美地台区是中国地台区的 6.63 倍；东欧地台区是中国地台区的 2.01 倍；西伯利亚地台区是中国地台区的 3.13 倍；南美地台区是中国地台区的 3.13 倍；非洲地台区是中国地台区的 8.0 倍；印度地台区是中国地台区的 1.13 倍；澳大利亚地台区是中国地台区的 1.25 倍；南极大陆地台区是中国地台区的 2.13 倍。中国陆壳的核心——中国地台的这一特殊性，决定了中国陆壳的构造活动应较其他大陆地壳更为活跃，这种特殊性在侏罗纪以来更加明显。

## 2. 中国大陆地壳的核心——中国地台是惟一长条形东西延伸的地台<sup>[2]</sup>

全球地台区规模与分布图告诉我们，在全球九个大陆地壳的地台区中，只有中国大陆地壳的形态为一长条形，并且长轴呈东西向，平行于赤道，与纬线延伸方向一致。中国大陆地壳的这一形态特征决定了中国大陆地壳在震旦纪至二叠纪的 470 Ma 期间的大地构造演化格局必定以纬向构造为主（图 1）。

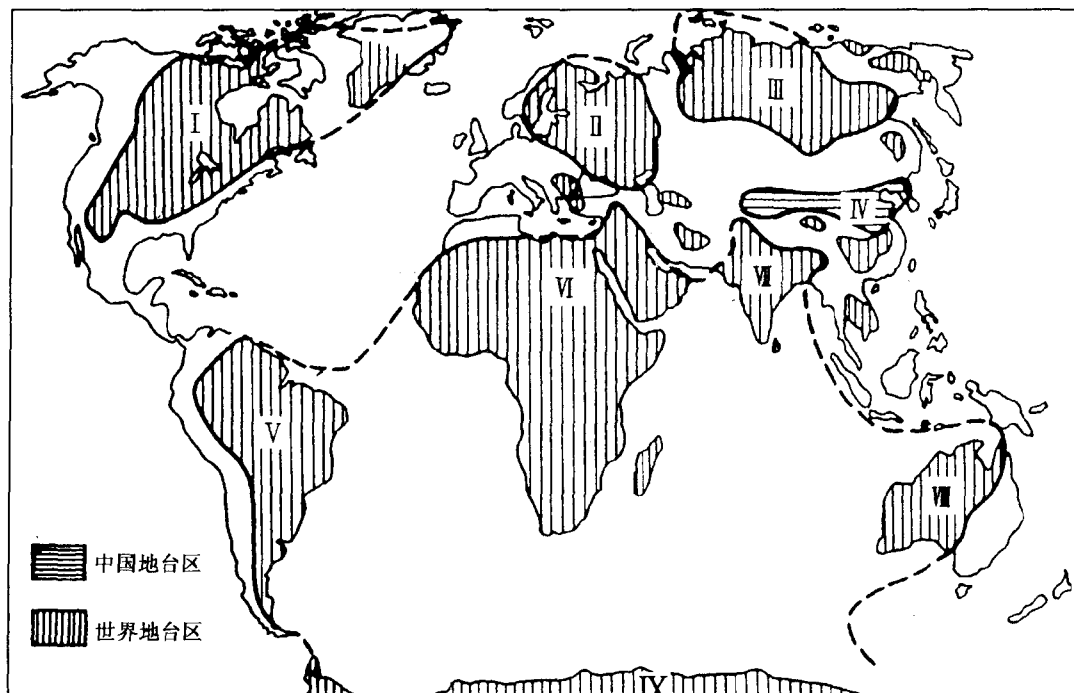


图 1 中国大陆地壳的核心——中国地台区的形态特征（据王鸿祯，刘本培 1987 年资料简化）

I—北美地台区；II—东欧地台区；III—西伯利亚地台区；IV—中国地台区；V—南美地台区；

VI—非洲地台区；VII—印度地台区；VIII—澳大利亚地台区；IX—南极大陆地台区

## 3. 中国大陆地壳是全球惟一经历四周受挤的地球动力学环境演化史的地壳

当地球的演化历史进行到距今 280~200 Ma 的石炭纪末时期，出现了一次全球九大地台区联合成泛大陆的现象。当泛大陆形成后，由塔里木陆块、柴达木陆块、华北陆块与扬子陆块组成的中国大陆地壳，承受了来自北、西、南三个方向的挤压应力。

当地球演化历史进展到距今 185 Ma 时，太平洋板块开始发育，由南东东方向向中国大陆地壳推挤，至此中国大陆地壳开始了四面受挤的地球动力学环境（图 2）<sup>[3]</sup>。

## 4. 中国大陆地壳是发育断穿岩石圈与地壳的深大断裂的大陆地壳

中国大陆地壳晚中生代以来处于四周受挤的地球动力学环境，使中国大陆岩石圈承受着

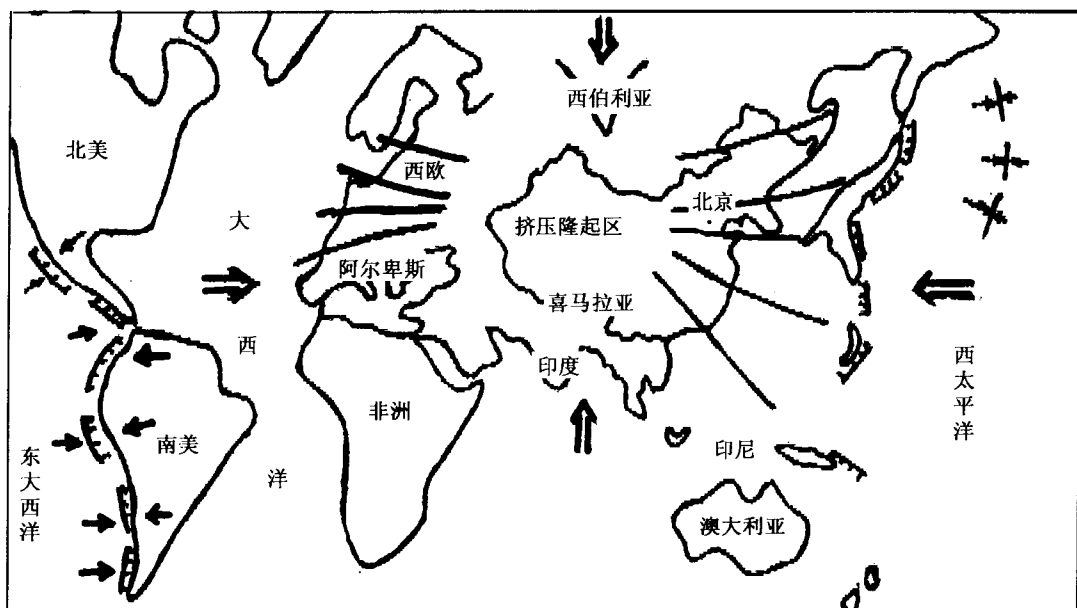


图2 中生代以来中国大陆岩石圈所处总应力场示意图<sup>[3]</sup>

下拱上张的应力场作用。岩石圈在下挤上张的应力作用下，上部的地壳出现受拉伸运动体制控制的构造变动，形成了以裂隙为主要型式的构造形变<sup>[4]</sup>，从而导致断开岩石圈或地壳的深大断裂发育。

#### 5. 中国大陆地壳是火山活动最为活跃的大陆地壳

深大断裂发育构成了地球深部物质——岩浆上涌的优越条件，软流圈的挤压应力环境与断穿岩石圈或地壳的深大断裂发育等条件的匹配，造成了中国大陆地壳火山活动较其他大陆地壳活跃的特殊风格。在地球显生宙的发展历史中，中国大陆地壳上的火山活动几乎没有停止过。只有中国陆壳在其内部腹地也存在火山活动，而其他大陆地壳火山活动多出现在陆壳边缘地区（图3）。

火山活动代表着地球深部的、高温高压条件下的无机物质直接向地球表面供给。物质是资源的基础，中国大陆地壳火山活动活跃说明，地球深部的物质不断而广泛地向中国大陆地壳供给。因此，在中国大陆地壳上，以地球深部物质为来源的矿产资源理应十分丰富而且分布也应广泛。这是中国大陆地壳的特殊性所决定的。

#### 6. 中国大陆地壳是新构造运动最为活跃的大陆地壳

上新世末至更新世间的构造运动是对我国大陆地壳最新变形和地貌发育影响最大的构造运动，所谓新构造运动期就是指这一阶段。中国大陆地壳在四面受挤的地球动力学环境中，周围板块向中国大陆地壳不断推挤，致使我国大陆地壳在全球各大陆地壳中新构造运动最为活跃，以天然地震为代表的新构造运动比全球其他大陆地壳显然十分普遍且强烈。在马宗晋院士与李存悌编制的1996年《全球新一中生代构造图》中，明显地表达了这一特殊性<sup>[6]</sup>。

## 二、中国含油气盆地的变格

泛大陆形成以后，由于太平洋板块的生成，中国大陆地壳处于四面受挤的地球动力学环

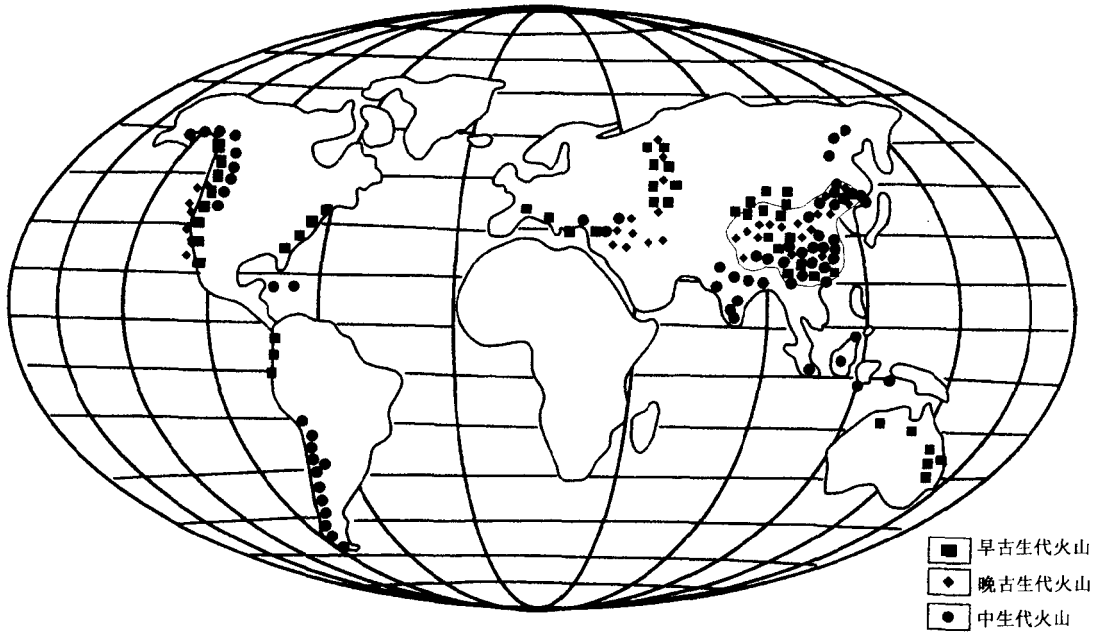


图 3 全球显生宙火山活动示意图（据王鸿祯资料简化）

境，从而使中国含油气盆地自侏罗纪开始出现了一个转折、两个世代、三种变格的巨大变化。

### 1. 成盆机制的变格

自侏罗纪开始，中国大陆地壳在四面受挤的地球动力学环境中，岩石圈出现下拱上张的应力响应，使中国大陆地壳产生众多断穿岩石圈或地壳的深大断裂及大规模裂陷，形成了众多中、新生代裂谷盆地。如中生代的松辽裂谷、海拉尔裂谷、二连裂谷、汾渭裂谷等以及新生代的华北裂谷、江汉裂谷、苏北裂谷、南海裂谷系、酒西裂谷、羌塘裂谷等一系列裂谷盆地。从而使中国大陆地壳出现了晚侏罗世前后两个世代的两种不同的成盆机制。

前侏罗纪的地槽与前陆盆地在海洋地壳的张开与闭合的槽台体制下形成，由于海洋地壳的反复张开与闭合，使中国大陆地壳的前侏罗纪古生代盆地具有多旋回特征。如中国古陆——中国地台两侧海洋地壳（北侧的亚洲洋及南侧的特提斯洋）张开形成了地槽，北侧形成有兴蒙地槽及天山—阴山—燕山—千山地槽，南侧形成昆仑—秦岭—大别山地槽，使中国地台上出现了冒地槽体制的前陆盆地。海洋地壳地槽闭合时褶皱成山，亚洲洋兴蒙地槽闭合时褶皱成大兴安岭及亚布罗诺夫山；天山—阴山—燕山—千山地槽回返后褶皱成天山、阴山、燕山及千山；特提斯洋的昆仑—秦岭—大别山地槽回返后褶皱成昆仑山、秦岭及大别山，并使中国地台抬升，出现沉积间断。海洋地壳的反复张开与闭合，使中国大陆地壳古生代的沉积盆地，出现多旋回特征。

侏罗纪以来的一系列大陆裂谷盆地则为大陆地壳裂解形成，并伴随有大规模火山活动。这使裂谷盆地的形成与火山活动密切相关，出现裂谷盆地为火山岩带所围限的特征，东北地区中新世代裂谷盆地群正是如此（图 4）。

### 2. 构造格局的变格

侏罗纪以来，由于太平洋板块的生成与扩张，使中国大陆地壳改变了受南北夹挤的地球

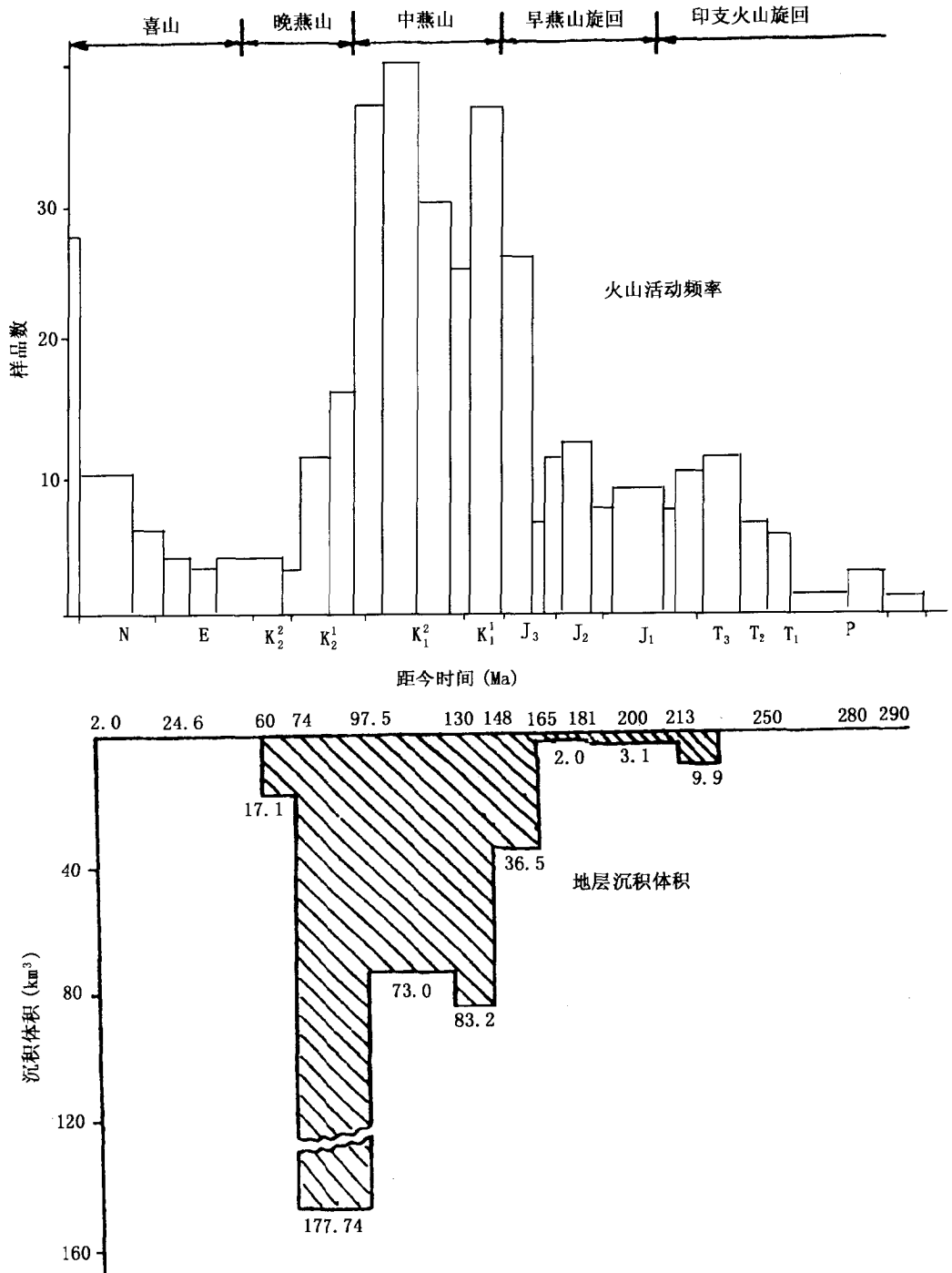


图 4 东北裂谷系沉积体积与火山活动频率关系图

动力学环境，处于四面受挤的地球动力学环境，使中国大陆地壳出现以断裂运动为特征的大地构造格局，由前侏罗纪东西向延伸的纬向构造变格为北北东向延伸的新华夏构造。

前侏罗纪，中国陆壳一直承受来自西伯利亚古陆由北向南的冲挤，直到古生代末的泛大陆时期，中国陆壳北面受西伯利亚古陆的冲挤、西面受欧洲古陆的冲挤、南面受印度古陆的冲挤，接受来自北、西、南三面的推挤。

在前侏罗纪的地球动力学环境中，由于中国陆壳的核心——中国地台呈狭长状平行纬度东西向延伸，因此南北两侧大洋地壳张开形成的地槽也平行中国地台呈东西向延伸。在西伯利亚古陆由北向南冲挤的地球动力环境中，地槽回返褶皱形成的造山带也呈东西向延伸。大洋地壳的张开使地台沉降接受沉积，地槽闭合使地台隆升而出现沉积间断，大洋地壳的反复张开与闭合使槽台两区的沉积出现多旋回特征，地台两侧的地槽部位则因反复褶皱而出现波动镶嵌的特征。

侏罗纪太平洋板块生成，对中国陆壳产生了由东向西的冲挤；由于印度洋的扩张，印度陆壳由南向北对中国陆壳冲挤；由于地球的自转，两极地壳向赤道运动，使西伯利亚保持了由北向南对中国陆壳冲挤，而地球由西向东的自转使欧洲陆壳保持了由西向东对中国陆壳阻挤，从此中国陆壳处于四面受挤的地球动力环境。

在四面受挤的地球动力学环境中，中国陆壳西部的东西向构造继续保持与加强；而东部由于太平洋板块的冲挤，产生了北北东向的构造，形成了滨太平洋构造域的新华夏构造体系。地球动力学环境的变化使中国前侏罗纪的构造格局发生了变格。

### 3. 沉积类型的变格

伴随盆地形成机制的变革，侏罗纪前后的沉积类型也发生了重大变格。

前侏罗纪，伴随大洋地壳的张开，中国陆壳的核心——中国地台区从震旦纪到二叠纪大多为海相沉积；侏罗纪及其以后时期，伴随大陆地壳的裂解，中国陆壳上的沉积盆地大多发育陆相沉积，仅在陆缘地区出现局部的海相沉积或海侵层位。

总之，泛大陆形成后的裂解期，由于中国陆壳经历了四面受挤的地球动力作用，使岩石圈产生下拱上张应力场，产生了众多断穿地壳或岩石圈的深断裂，故而中国陆壳在大陆裂解期裂解普遍，使含油气盆地从侏罗纪时起，成为两个世代的盆地，并出现了三种变格。前侏罗纪世代的沉积盆地为大洋张开的产物，形成了海相沉积和东西向的构造格局；而侏罗纪以来世代的沉积盆地为大陆裂解的产物，形成了陆相为主的沉积，西部东西向构造格局被加强，东部出现北北东向的构造格局。这种变格，导致了中国含油气盆地独具的地质特征。

## 三、中国含油气盆地的地质特征

### 1. 沉积岩、火山岩兼有的“水、火”二元结构的地质格架

中国陆壳的特殊性使我国的含油气盆地具有独特的地质特征，那就是我国的含油气盆地大多为沉积岩、火山岩皆有的二元结构地质格架的含油气盆地，尤其是中、新生代的含油气盆地均如此。

松辽盆地：上侏罗统火石岭组为中酸性火山岩；下白垩统沙河子组、营城组夹火山岩层；上白垩统青山口组夹玄武岩层；上白垩统嫩江组夹有火山灰沉积形成的凝灰岩层。

渤海湾盆地：中、上侏罗统以火山碎屑岩为主，夹中基性火山岩；下第三系始新统孔店组夹玄武岩层；渐新统沙河街组夹玄武岩层。

苏北盆地：上侏罗统龙王山组夹安山岩层；上白垩统浦口组夹安山岩；下第三系渐—始新统三垛组夹玄武岩；上第三系中新统盐城组夹玄武岩。

江汉盆地：上侏罗统夹中酸性火山岩层；下第三系古新统沙市组下段夹玄武岩层，下始

新统新沟咀组夹玄武岩层，中始新统荆沙组夹玄武岩层。

珠江口盆地：下第三系古新统神狐组夹玄武岩层。

二连盆地：石炭系—二叠系见晶屑凝灰岩；侏罗系见安山岩、火山碎屑岩及晶屑凝灰岩；下白垩统巴彦花群巴下组见火山岩及晶屑凝灰岩。

鄂尔多斯盆地：中、下奥陶统包尔汉图群见玄武岩、安山岩及凝灰岩。

四川盆地：震旦系苏雄组见安山岩、流纹岩夹层，开建桥组见流纹质凝灰岩；二叠系见峨嵋山玄武岩。

楚雄盆地：二叠系上统见玄武岩；上三叠统云南驿组及罗家大山组见凝灰质砂岩。

酒泉盆地：上寒武统香毛山群夹凝灰岩；下奥陶统阴沟群见安山玄武岩；中奥陶统妖魔山组见玄武质及安山质玢岩；上奥陶统白云山组见玄武岩及中酸性火山岩；下志留统马营沟组见基性火山岩；中志留统泉脑沟组见火山岩；中—下泥盆统雪山群见安山玄武岩；中泥盆统三个井组见玄武岩及火山角砾岩；上泥盆统墩山群见流纹岩、安山岩及凝灰岩；下石炭统绿条山组见基性火山岩；中石炭统石板山群见酸性火山岩；上石炭统干泉群见中酸性火山岩；下二叠统双堡塘组见海底喷发岩；上二叠统金塔组见玄武岩及硅质岩；中—下侏罗统龙凤山群见玄武岩及凝灰岩；下白垩统新民堡群见玄武岩；下第三系渐新统见玄武岩。

柴达木盆地：上奥陶统赛什腾群见中酸性火山岩；中—下泥盆统契盖苏群见凝灰岩、安山岩及英安岩；上泥盆统哈尔扎组见火山角砾岩及凝灰岩；下二叠统茅口组中部为火山岩；下三叠统洪水川群见凝灰岩；中三叠统仓坚沟组夹火山岩及火山角砾岩；上三叠统八宝山群是一套火山岩为主的地层；丁字口西北金泉山地区侵入于下古生界的花岗闪长岩为侏罗纪产物；当金山口南西侵入于下古生界的花岗岩体为白垩纪产物。

塔里木盆地：震旦系贝义西组为火山岩组；下寒武统西山布拉克组见辉绿岩及硅质岩；中寒武统船形山组见硅质岩；下二叠统开派兹雷克组为火山喷发岩与碎屑岩系。

吐鲁番—哈密盆地：石炭系以浅海相火山碎屑岩和火山岩为主；下二叠统阿其克拉群下部以火山岩为主，向上见玄武岩及凝灰岩。

西藏的伦坡拉盆地：三叠系中见较多基性岩体侵入；侏罗系夹有火山碎屑岩；白垩系夹有火山角砾岩。

(以上资料均摘自《中国石油地质志》<sup>71)</sup>)

## 2. 具有来自地球深部的热液水

火山活动为地壳表层的沉积盆地送来了地球深部的热液水，并将地球深部的元素携至地壳上部乃至地表。中国科学院贵阳地球化学研究所谢鸿森研究员用高温超高压实验技术模拟地球深部条件时发现，地球内部流体绝大部分处于超临界状态，并与岩石、矿物相互作用。当超临界水处于  $3 \times 10^4 \sim 5 \times 10^4 \text{ atm}$ <sup>①</sup> 和  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$  高温条件时，常温常压条件下在“王水”中处之泰然的黄金也被溶解。

在上述作用下，热液水中含有许多地壳表层和生物成因的有机物质所没有或含量甚微的元素。因此，“热液水”有可能形成含有特殊成分的流体矿藏，使“热液水”除作为热能资源、水资源之外，还成为可提取地壳表层稀有元素或贵重元素的新型资源<sup>[8]</sup>。这种来自地球深部的水可以使沉积盆地中的地层水发生类型的变异。

松辽盆地地层水存在异常，在  $\text{NaHCO}_3$  型水环境中出现  $\text{CaCl}_2$ 、 $\text{MgCl}_2$ 、 $\text{Na}_2\text{SO}_4$  型水异

①  $1 \text{ atm} = 101.325 \text{ kPa}$  (下同)

常。水型异常出现在深大断裂的两侧，在深大断裂的交汇处尤为集中。幔源热液中的阴离子主要有  $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{F}^-$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  等，松辽盆地地层水异常现象可能是由于有幔源热液供给引起的，所以水型异常分布于区域盖层以下层位，并沿沟通上地壳以下的深大断裂分布<sup>[9]</sup>。

### 3 “两横、三竖”深断裂带将含油气盆地切成“东西分带、南北分块”

自古生代以来，深断裂发育的中国陆壳共计形成了断穿岩石圈或地壳的深断裂 136 条。在这些深断裂组成的网络中，有两条横贯与三条竖切中国陆壳的深断裂带构成深断裂网纲：由哈里克套—博格达断裂与赤峰—开原断裂组成了横贯中国陆壳北部的深断裂带，由东昆仑南缘断裂与秦岭南缘断裂组成了横贯中国中部的深断裂带；狼山断裂、六盘山断裂、龙门山断裂与小江断裂组成了竖切中国陆壳中部的深断裂带，由嫩江—长治断裂与宜昌—都匀断裂组成了竖切中国东部重力梯级带的深断裂带，由依兰—伊通断裂与郟城—庐江断裂组成了竖切中国陆壳东侧的深断裂带<sup>[4]</sup>。

“两条横贯”的深断裂带将中国陆壳切成东西延伸的三大板块条带。北边一块为准噶尔—松辽板块条带；中间为塔里木—华北板块条带；南边为滇藏—扬子（华南）板块条带。以狼山断裂、六盘山断裂、龙门山断裂与小江断裂组成的竖切中部的深断裂带将中国含油气盆地分成东西两个含油气盆地群，各有不同的含油气基本特征。

(1) 西部含油气盆地群为受新构造运动强烈改造的盆地群，具有新构造运动强烈而活跃的特征，形成以次生油气藏为主的保控型含油气系统、油气田沿活动断裂分布的石油地质特征。

(2) 东部含油气盆地群又被嫩江—长治断裂、宜昌—都匀断裂组成的深断裂带与郟城—庐江断裂组成的深断裂带切分成三个带，具有火山活动强烈而活跃的特征，形成以原生油气藏为主的源控型含油气系统、油气田沿深断裂分布等石油地质特征。三个盆地带为：

东缘的残留盆地带：郟庐断裂以东的盆地带，以三江、苏北、珠江口等盆地为代表。煤系地层发育，煤成烃及煤层气发育，具有海相沉积层位及不见边缘相的沉积特征，新生代玄武岩发育，火山岩覆盖型盆地发育，深断裂控制油气田的分布，具有多种天然气资源。

中、新生代大陆裂谷盆地群带：以松辽、渤海湾、江汉、三水等盆地为代表。存在中生代火山岩发育及短暂海侵现象，具有源控型含油气系统及深断裂控制油气田分布规律，为资源类型丰富的盆地带。

古生界海相地层为主的叠合盆地群带：以鄂尔多斯、四川等盆地为代表。具有以古生代海相沉积为主叠合中、新生代陆相沉积的盆地带，具有海陆二元结构油气田分布特征，具有下气上油的纵向油气分布模型。

“两横、三竖”的深断裂带将中国含油气盆地切分成“东西分带、南北分块”的特征，宏观地表征了中国含油气盆地的基本石油地质特征（图 5）。

## 四、中国含油气盆地的石油地质特征

### 1. 具有多种生烃机制的多种油源供给

#### 1) 火山活动对生烃机制的贡献之一——灶体生烃模式

火山岩及侵入岩的温度都高达  $1020 \sim 1200^\circ\text{C}$ <sup>[10]</sup>，这种携有高温热能的岩浆物质进入沉积盆地，或成为覆于沉积层之上的火山岩体，或成为侵入于沉积层之间或之下的侵入岩体，在凝结之前都是邻近沉积层的热源体，像炉灶一样对含有机质的沉积层进行加热促进成熟，故称之为灶体热源，灶体热源作用下的有机质热演化生烃称之为灶体生烃模式。依热源灶体

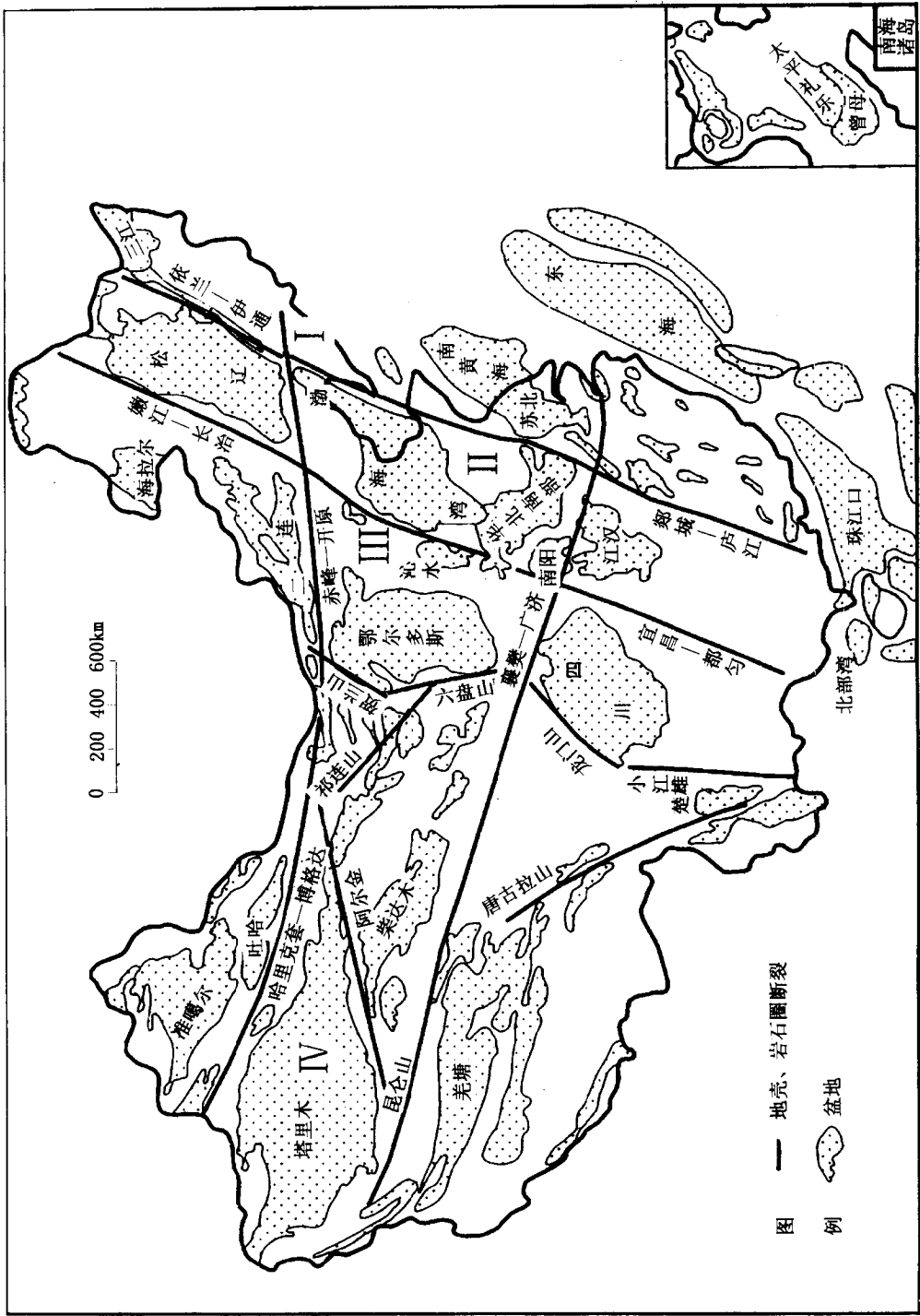


图 5 中国含油气盆地群带的划分

I—东部残留盆地群带；II—东部裂谷盆地群带；III—中部叠合盆地群带；IV—西部新构造运动强烈改造盆地群带

图例  
 — 地壳、岩石圈断裂  
 盆地

与含有机质层之间的层序关系，分为上灶、中灶、下灶三种亚模式。

## 2) 火山活动对生烃机制的贡献之二——催化生烃模式

来自地球深部的热液水中携有许多地壳表层罕见的元素，它们以元素状态随水迁移，这些元素在有机质演化生烃过程中起着催化剂的作用，使沉积层中的有机碳更多地与氢结合而生成更多的烃。目前已知有催化作用的金属元素有以下几种。

### (1) 金属元素钯 (Pd) 的催化亚模式

大庆石油学院有机地化教研室傅晓泰和伍如意两位先生在于 1992 年完成的超声波水解实验中，对不同样品做了加 Pd 吸附氢与不加 Pd 的生烃模拟对比实验\*，结果是加 Pd 可以增加 55%~469% 的气态烃产物 (表 1) 和 51%~257% 的液态烃产物 (表 2)。

表 1 超声波水解实验\*气态烃产率表

样品名称	样重 (g)	Pb 吸氢量 (mg)	烃气产量 (mL)	增产率 (%)
江汉 抽提后泥岩	56.6	3.8	3.53	4.58
	56.5	0	0.77	1.00
扎赉诺尔煤	25.0	7.1	5.30	2.83
	40.5	0	1.87	1.00
孢子煤	19.0	4.0	59.03	5.69
	40.0	0	10.37	1.00
树脂体	0.55	3.6	50.18	1.55
	0.65	0	32.46	1.00

\*：该试验为硕士研究生学位论文报告的实验

表 2 超声波水解实验液\*态烃产率表

样品名称	样重 (g)	Pb 吸氢量 (mg)	总烃 (μg/g)	增产率 (%)
树脂体	0.55	3.6	138 310	1.85
	0.55	0	74 717	1.00
孢子煤	19.00	4.0	46 252	1.61
	19.00	0	28 643	1.00
扎赉诺尔煤	25.00	7.1	5 671	3.57
	40.00	0	1 589	1.00
洱海 现代沉积	36.00	6.0	786	1.84
	36.00	0	427	1.00
江汉 抽提后泥岩	56.00	3.8	105	1.51
	56.00	0	70	1.00

## (2) 金属元素 Fe、Mn、Zn、Cu 的催化亚模式

美国俄勒岗州立大学海洋学院石油组对加里福尼亚湾古亚依玛斯盆地不成熟硅藻土沉积物中的热液石油的调查发现：古亚依玛斯盆地是一个活跃扩张的海洋裂谷盆地，来自地壳岩浆房的热液流体通过厚约 400~500m 富含有机物质与碳酸盐的沉积物后形成了 C<sub>1</sub>—C<sub>40</sub> 的石油和天然气。在有机物质向石油和天然气转化的过程中，来自地壳岩浆房的热液水的加入及其与有机物质的相互作用加速了石油的形成，使不成熟的有机物质生出了石油。在相互作用中，来自地壳岩浆房的热液水失去了三种物质与能量：一是热液流体的温度从 350 ℃ 降至 315 ℃；二是热液流体的 pH 值从 4 升为 6；三是热液水中的金属元素 Fe、Mn、Zn、Cu 的含量降低了 2%~20% (图 6)。有机物质由热液水补给了热能和分解能，加快了生烃速度；有机物质由热液水补给了 Fe、Mn、Zn、Cu 等金属元素，加大了有机碳向烃类物质转化的程度，没有热液流体通过的沉积物中平均有机碳含量为 20%，有热液流体通过的沉积物中有机碳含量仅为 0.1%，即在热液流体的作用下，沉积物中 99.5% 的有机碳都转化为烃类物质，增加了生烃量 (B.R.T.Simoneit, 1986)<sup>[11]</sup>。

松辽、辽河、大港和新疆油田原油中的 Fe、Mn、Zn、Cu 等元素均高于中国沉积层平均含量的 1~2 个数量级 (表 3)，说明这几个油田的原油中，都可能存在热液流体中 Fe、Mn、Zn、Cu 等金属元素的催化作用下生成的烃。

表 3 各油田原油中金属元素含量与中国沉积层平均含量对比表

元素	中国沉积层	大庆油田	辽河油田	大港油田	新疆油田
Ge	$3.3 \times 10^{-2}$	$1.5 \times 10^{-1}$			
Mn	$2.6 \times 10^{-4}$	$6.8 \times 10^{-3}$	$6.3 \times 10^{-4}$		$1.0 \times 10^{-3}$
Zn	$4.5 \times 10^{-5}$	$2.5 \times 10^{-3}$	$2.7 \times 10^{-3}$	$1.8 \times 10^{-3}$	$1.4 \times 10^{-3}$
Cu	$2.8 \times 10^{-5}$	$2.5 \times 10^{-3}$	$7.4 \times 10^{-4}$	$5.0 \times 10^{-4}$	$1.0 \times 10^{-4}$

注：中国沉积层资料为黎彤提供，地球化学，1994，23 (2)：141~146。

原油分析资料为国家地质实验检测中心张树德分析，由大庆油田勘探开发研究院副院长黄福堂提供。

## 3) 火山活动对生烃机制的贡献之三——合成生烃机制

地球深部有大量的天然气存在，大洋中脊喷出的热液及气态物质就是地球深部的原始物质。北纬 21° 东太平洋隆脊热液喷口喷出了 400 的热水和 CO、CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>、H<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>S、N<sub>2</sub>、He 等气态物质，说明地球内部存在这些气态物质。

1992 年台北大学的魁齐昆和李明达先生在实验室内用熔融铁作媒介，用 CO<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub> 合成出烷烃 (魁齐昆, 1991)<sup>[12]</sup>，详见表 4。

上述实验结果告诉我们，气态物质的 CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub> 确实可以合成烃类物质。在自然界中，合成生烃的催化剂存在与否成为烃类物质合成的关键。在沉积岩、火山岩兼而有之的二元结构盆地中，近似熔融铁的物质是玄武岩、橄榄玄武岩和橄榄岩，既有 CO<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub> 物质，也有玄武岩类岩浆取代熔融铁作为催化媒介。因此，二元结构盆地的生烃模式中，应增加一类合成生烃机制。由于 CO<sub>2</sub> 与 H<sub>2</sub> 有生物成因与非生物成因之分，因此，合成生烃机制依 CO<sub>2</sub> 与 H<sub>2</sub> 的成因不同，可以分为有机合成、无机合成与混合合成三种合成生烃模式。

## 4) 火山活动对生烃机制的贡献之四——非生物无机生烃机制

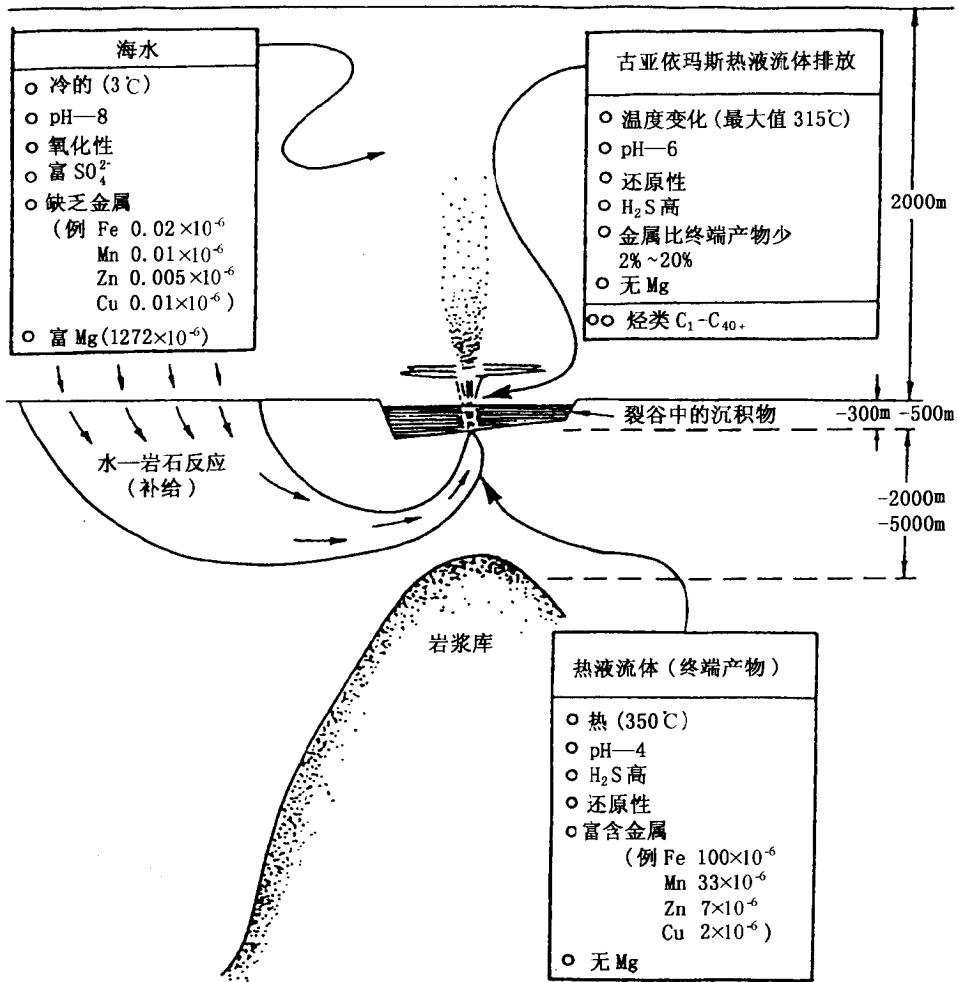


图 6 古亚依玛斯盆地的热液石油及热液流体的循环模式  
(Semoneit, 1984 年资料)

对来自地球内部、迅速喷溢到地球表面、迅速凝结的火山岩进行热解色谱分析的结果，发现火山岩中含有烃类物质，证明地球内部存在烃类物质（表 5 和表 6）。

松辽盆地的昌德气藏与肇州西气藏天然气地球化学特征有甲烷碳同位素值大于  $-25\text{‰}$  以及  $\delta^{13}\text{C}_1 > \delta^{13}\text{C}_2 > \delta^{13}\text{C}_3$  的反序现象，具非生物成因气的地球化学特征，见表 7<sup>[13]</sup>。

上述资料证明，松辽盆地确实存在非生物成因的烃气气藏。

国际地球化学家们认为：有机成因油具有旋光性、卟啉及奇偶优势的正烷烃分布；无机成因油则不具有奇偶优势的正烷烃分布，而具有偶奇优势的正烷烃分布。塔里木及松辽盆地原油的正烷烃结构反映了有机与无机两种成因油的迹象。

表 4 熔融铁 + HZSM-5 型 (沸石) 系统产物分配表

催化剂 (g)	熔融铁	30	30	30	30	
	HZSM-5 沸石	0	2.2	6	9	
工作条件	温度 (°C)	350	350	350	350	
	压力 (kPa)	2170	2170	2170	2170	
	GHSV ( $\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ) <sup>2</sup>	60	60	60	60	
	CO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub>	1/2	1/2	1/2	1/2	
	过程时间 (h)	80	80	80	80	
	烃转化率 (%)	34.87	30.00	32.57	32.10	
	CO 转化率 (%)	4.72	5.74	5.54	5.25	
烃类分配	脂肪烃	C <sub>1</sub>	10.05	8.24	10.07	9.77
		C <sub>2</sub>	3.63	5.52	5.75	8.32
		C <sub>3</sub>	2.37	8.46	47.32	21.09
		C <sub>4</sub>	2.28	23.51	24.72	24.87
		C <sub>5</sub>	39.18	32.51	19.97	14.22
	烯烃 C <sub>2</sub> -C <sub>4</sub>	41.87	6.86	0.79	0.50	
	链烷烃 C <sub>2</sub> -C <sub>4</sub>	8.28	37.50	17.80	54.29	
	芳香烃	A <sub>6</sub>	0.00	2.35	2.53	3.07
		A <sub>7</sub>	0.00	5.49	9.57	9.89
		A <sub>8</sub>	0.00	5.41	7.61	6.92
		A <sub>9</sub>	0.00	1.56	1.61	1.31
	A 总量	0.00	14.86	21.35	21.20	
	iC <sub>4</sub> /C <sub>4</sub>	0.00	1.65	1.90	1.91	
氧化物	0.60	0.00	0.00	0.00		

表 5 黑龙江省玄武岩热解检验报告

地区	热解温度 (°C)	残留烃 (mg/g)	裂解烃 (mg/g)	CO <sub>2</sub> (mg/g)	有效碳 (%)	有机碳 (%)	产油潜量 (mg/g)
方正县 老尖山	436	0.11	0.55	0.41	0.05	0.00	0.61
五大连池	443	0.04	0.02	0.10	0.00	0.00	0.06
虎林	288	0.01	0.02	0.13	0.00	0.00	0.03
镜泊湖	337	0.01	0.03	0.41	0.00	0.00	0.04

表 6 松辽盆地火山岩中热解气体成分相对含量表

岩性	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	非烃
流纹岩	1.2702	1.9264	8.583	0.000	0.000	88.22
安山岩	3.0202	9.4747	17.0104	0.000	0.000	72.49
玄武岩	0.5938	4.3741	6.2773	65.9716	14.693	8.0702

表 7 松辽盆地昌德与肇州西气藏天然气地球化学特征表

气藏	井号	$\delta^{13}C_1$ PDB,‰	$\delta^{13}C_2$ PDB,‰	$\delta^{13}C_3$ PDB,‰	$\delta^{13}C_4$ PDB,‰
昌德	芳深 1 井	-18.7	-22.4	-24.1	-28.2
	芳深 2 井	-16.7	-19.2	-24.3	
	昌 103 井	-21.77	-26.17	-28.2	-28.78
	芳深 7 井	-28.8	-30.4	-32.5	-32.6
肇州西	肇深 1 井	-24.0	-28.8	-30.1	-31.3

元素特征也为石油成因历程提供信息。大庆和新疆石油中含有生命物质中不见的元素见表 8。

表 8 石油共生元素、中国陆壳元素与生物体元素对比表

元素	中国陆壳含量	大庆油中含量	新疆油中含量	生物含量 <sup>[14]</sup>
Nd	$4.6 \times 10^{-5}$	$5.6 \times 10^{-5}$	$2.72 \times 10^{-4}$	$n \times 10^{-3}$
Sm	$7.3 \times 10^{-6}$	$7.3 \times 10^{-5}$	$6.9 \times 10^{-5}$	$n \times 10^{-3}$
Be	$4.4 \times 10^{-6}$	$3.9 \times 10^{-6}$	$1.5 \times 10^{-5}$	无
Hf	$5.1 \times 10^{-6}$	$8.1 \times 10^{-7}$	$2.9 \times 10^{-6}$	无
Ta	$3.5 \times 10^{-6}$	$1.0 \times 10^{-8}$	$6.0 \times 10^{-8}$	无
W	$2.4 \times 10^{-6}$	$3.9 \times 10^{-6}$	$6.9 \times 10^{-7}$	无
Re	$6.5 \times 10^{-10}$ *	$2.1 \times 10^{-7}$	$2.0 \times 10^{-7}$	无
Ga	$2.0 \times 10^{-5}$	$1.1 \times 10^{-4}$	$4.6 \times 10^{-5}$	无
Nb	$3.4 \times 10^{-5}$	$3.7 \times 10^{-6}$	$6.0 \times 10^{-8}$	无
Th	$1.7 \times 10^{-5}$	$1.8 \times 10^{-5}$	$1.5 \times 10^{-4}$	无
Au	$2.3 \times 10^{-9}$	$7.0 \times 10^{-8}$	$3.1 \times 10^{-7}$	无
Tl	$6.1 \times 10^{-7}$	$3.6 \times 10^{-7}$	$7.0 \times 10^{-8}$	无
Bi	$1.9 \times 10^{-7}$	$8.1 \times 10^{-7}$	$6.3 \times 10^{-8}$	无
Ag	$5.0 \times 10^{-8}$	$1.1 \times 10^{-5}$	$6.5 \times 10^{-6}$	无
Cd	$5.5 \times 10^{-8}$	$4.1 \times 10^{-5}$	$1.5 \times 10^{-6}$	无
In	$4.2 \times 10^{-8}$	$1.1 \times 10^{-6}$	$3.0 \times 10^{-8}$	无
Sb	$1.5 \times 10^{-7}$	$6.6 \times 10^{-6}$	$1.2 \times 10^{-6}$	无
Te	$2.0 \times 10^{-8}$	$4.7 \times 10^{-6}$	$1.4 \times 10^{-6}$	无
Zr	$1.6 \times 10^{-4}$	$3.9 \times 10^{-5}$	$1.0 \times 10^{-5}$	无
Ti	$6.6 \times 10^{-3}$	$9.7 \times 10^{-4}$	$1.2 \times 10^{-4}$	$n \times 10^{-4}$
Hg	$8.0 \times 10^{-8}$	$1.2 \times 10^{-6}$	$4.2 \times 10^{-7}$	$n \times 10^{-7}$

\* : 黎彤, 中国陆壳及其沉积层和上陆壳的化学元素丰度《地球化学》, 1994, 23 (2): 140~144;

大庆及新疆石油中元素为国家地质实验测试中心张树德提供, 单位为质量比值;

生物成分为 II. 维诺格拉多夫综合了 6000 多种动植物的平均成分, 《地球化学》, 地质出版社, 1979: P56

## 2. 具有多种共生资源

### 1) 石油中的共生资源

中国石油中富含 Mn、Zn、Cu、Ag、Cd、In、Re 等有色金属与地壳稀有而地幔富有的金属元素 (表 9)。

表 9 中国石油的共生金属资源表

元素	中国陆壳	石 油				
		松辽	大港	新疆	长庆	辽河
V	$9.9 \times 10^{-5}$	$3.3 \times 10^{-4}$		$3.0 \times 10^{-3}$		$1.1 \times 10^{-3}$
Li	$4.4 \times 10^{-5}$	$3.1 \times 10^{-4}$	$1.4 \times 10^{-3}$		$8.5 \times 10^{-3}$	$2.6 \times 10^{-3}$
Ti	$6.5 \times 10^{-5}$	$9.7 \times 10^{-4}$		$1.2 \times 10^{-4}$	$1.5 \times 10^{-4}$	$1.7 \times 10^{-4}$
Cr	$6.3 \times 10^{-5}$	$3.7 \times 10^{-4}$		$5.6 \times 10^{-3}$	$4.2 \times 10^{-4}$	
Mn	$7.8 \times 10^{-4}$	$6.8 \times 10^{-3}$		$1.0 \times 10^{-3}$		
Fe	$5.69 \times 10^{-2}$	$1.51 \times 10^{-1}$				
Co	$3.2 \times 10^{-5}$	$1.9 \times 10^{-4}$		$1.2 \times 10^{-4}$		$1.4 \times 10^{-3}$
Ni	$5.7 \times 10^{-5}$	$1.7 \times 10^{-3}$	$1.8 \times 10^{-3}$	$3.3 \times 10^{-3}$	$1.0 \times 10^{-2}$	$4.2 \times 10^{-2}$
Cu	$3.8 \times 10^{-5}$	$2.5 \times 10^{-3}$	$5.0 \times 10^{-4}$	$1.0 \times 10^{-4}$	$7.5 \times 10^{-4}$	$7.4 \times 10^{-4}$
Zn	$8.6 \times 10^{-5}$	$2.5 \times 10^{-3}$	$1.8 \times 10^{-3}$	$1.4 \times 10^{-3}$	$7.0 \times 10^{-4}$	$2.7 \times 10^{-3}$
Ga	$2.0 \times 10^{-5}$	$1.0 \times 10^{-4}$				
Ge	$1.2 \times 10^{-6}$	$3.0 \times 10^{-5}$	$1.9 \times 10^{-5}$		$2.7 \times 10^{-5}$	
As	$1.9 \times 10^{-6}$	$1.5 \times 10^{-3}$	$1.6 \times 10^{-4}$	$1.2 \times 10^{-4}$	$1.7 \times 10^{-4}$	
Se	$7.4 \times 10^{-8}$	$1.1 \times 10^{-3}$	$7.4 \times 10^{-4}$	$4.9 \times 10^{-5}$	$8.9 \times 10^{-4}$	
Sr	$6.9 \times 10^{-4}$	$3.7 \times 10^{-3}$		$5.1 \times 10^{-3}$	$1.5 \times 10^{-3}$	
Y	$2.7 \times 10^{-5}$			$7.7 \times 10^{-4}$		$5.2 \times 10^{-4}$
Mo	$2.0 \times 10^{-6}$	$4.5 \times 10^{-5}$	$1.8 \times 10^{-5}$		$7.7 \times 10^{-5}$	$9.6 \times 10^{-5}$
Ag	$5.0 \times 10^{-8}$	$1.0 \times 10^{-5}$	$2.6 \times 10^{-6}$	$6.4 \times 10^{-6}$	$5.8 \times 10^{-6}$	$8.3 \times 10^{-7}$
Cd	$5.5 \times 10^{-7}$	$4.1 \times 10^{-5}$	$9.3 \times 10^{-6}$	$1.4 \times 10^{-6}$	$1.4 \times 10^{-6}$	
In	$4.2 \times 10^{-8}$	$1.1 \times 10^{-6}$	$8.7 \times 10^{-7}$			
Sn	$4.1 \times 10^{-6}$	$4.0 \times 10^{-4}$	$2.7 \times 10^{-4}$		$3.5 \times 10^{-5}$	
Sb	$1.5 \times 10^{-7}$	$6.5 \times 10^{-6}$		$1.1 \times 10^{-6}$	$2.7 \times 10^{-6}$	
Te	$2.0 \times 10^{-8}$	$4.6 \times 10^{-6}$	$2.0 \times 10^{-6}$	$1.3 \times 10^{-6}$	$3.8 \times 10^{-6}$	
Ba	$6.1 \times 10^{-4}$	$3.3 \times 10^{-3}$		$2.3 \times 10^{-3}$		
La	$4.2 \times 10^{-5}$			$1.8 \times 10^{-4}$		$4.9 \times 10^{-4}$
Ce	$7.9 \times 10^{-5}$	$1.5 \times 10^{-4}$		$4.5 \times 10^{-4}$		$8.6 \times 10^{-4}$
Pr	$9.5 \times 10^{-6}$	$2.0 \times 10^{-5}$		$6.6 \times 10^{-5}$		$1.0 \times 10^{-4}$
Nd	$4.6 \times 10^{-5}$			$2.7 \times 10^{-4}$		$4.5 \times 10^{-4}$
Sm	$7.3 \times 10^{-6}$	$2.0 \times 10^{-5}$		$6.9 \times 10^{-5}$		$9.7 \times 10^{-5}$
Eu	$1.6 \times 10^{-6}$	$1.0 \times 10^{-5}$		$3.0 \times 10^{-5}$		$2.8 \times 10^{-5}$
Gd	$7.4 \times 10^{-6}$	$1.2 \times 10^{-5}$		$5.5 \times 10^{-5}$		$1.0 \times 10^{-4}$
Tb	$1.0 \times 10^{-6}$			$2.3 \times 10^{-5}$		$1.6 \times 10^{-5}$
Ho	$9.6 \times 10^{-7}$	$1.4 \times 10^{-6}$		$2.9 \times 10^{-5}$		$2.2 \times 10^{-5}$

元素	中国陆壳	石 油				
		松辽	大港	新疆	长庆	辽河
Er	$2.6 \times 10^{-6}$			$7.0 \times 10^{-5}$		$4.1 \times 10^{-5}$
Tm	$4.3 \times 10^{-7}$			$8.0 \times 10^{-6}$		$5.5 \times 10^{-6}$
Yb	$3.2 \times 10^{-6}$			$5.4 \times 10^{-5}$		$3.0 \times 10^{-5}$
Lu	$4.1 \times 10^{-7}$			$7.8 \times 10^{-6}$		$4.3 \times 10^{-6}$
W	$2.4 \times 10^{-6}$				$1.0 \times 10^{-5}$	
Re	$6.5 \times 10^{-10}$ (全球地壳)	$2.1 \times 10^{-7}$	$2.5 \times 10^{-7}$	$2.0 \times 10^{-7}$	$2.9 \times 10^{-7}$	
Au	$1.2 \times 10^{-9}$	$7.0 \times 10^{-8}$		$3.1 \times 10^{-7}$		
Hg	$8.0 \times 10^{-8}$	$1.2 \times 10^{-6}$	$1.9 \times 10^{-6}$	$4.2 \times 10^{-7}$	$1.4 \times 10^{-6}$	
Tl	$6.1 \times 10^{-7}$					$1.4 \times 10^{-4}$
Pb	$1.5 \times 10^{-5}$	$2.6 \times 10^{-3}$				
Bi	$1.9 \times 10^{-7}$			$6.3 \times 10^{-6}$	$1.4 \times 10^{-6}$	
Th	$1.7 \times 10^{-5}$			$1.5 \times 10^{-4}$		
U	$5.6 \times 10^{-6}$			$1.0 \times 10^{-4}$		

注：中国陆壳资料为黎彤发表于 1992 年 6 月《地球化学》；

②元素分析资料由国家地质实验检测中心张树德提供。

## 2) 地层水中的共生资源

地球深部的热液水在向浅部运移过程中，将地球深部的元素携至地壳上部乃至地表，它们不仅在烃类生成中起着催化作用，而且随着科学技术的进步，其中地表稀缺的贵重元素也将成为易于提取的资源。

Micheal. A. Mckibben 等人在南加里福尼亚 Salton 海的热液流体中见有金、铂等稀有贵金属；Werner 1970 年记录了含有  $0.2 \times 10^{-6}$  的 Au；矿业工程部 1979 年提供了  $2.0 \times 10^{-6}$  的 Au；Harrar 1984 年用中子激活技术发现热液中含  $55 \times 10^{-9}$  的 Pt；CW-2 井井口阀门垢中含 Au 达  $5.6 \times 10^{-6}$ ，在出油管阀门垢中含 Au  $500 \times 10^{-9}$ ；CW-4 井井口阀门垢中含 Pt  $13 \times 10^{-9}$ 、含 Pd  $2 \times 10^{-9}$ [15]。

M. A. Korzhinsky 1994 年在千岛火山弧的 Iturup 岛北端的 Kudriavy 火山热液中发现纯 Re 矿物[16]。

大庆林甸县林 4 井的地层水中也见有  $15 \times 10^{-9}$  的 Au、 $100 \times 10^{-9}$  的 Pt；霍 1 井的地层水中见有  $71 \times 10^{-9}$  的 Au、 $108 \times 10^{-9}$  的 Pt。

## 3) 天然气中的共生资源

中国陆壳的特殊性决定了中国的含油气盆地中的天然气共生有以下资源。

(1) 非生物成因烷烃气。截至 1992 年，松辽盆地产天然气的 132 口井中有 13 口井天然气的  $\text{CH}_4$  碳同位素值在  $-25\% \sim -12.8\%$  之间，有 6 口井的碳同位素出现  $\delta^{13}\text{C}_1 > \delta^{13}\text{C}_2 > \delta^{13}\text{C}$  的反序现象（表 7）。

塔里木盆地库车坳陷西部大宛 1 井 2391~2394m 井段康村组含气水层的  $\delta^{13}\text{C}_1$  值为

-17.9‰、 $\delta^{13}\text{C}_2$  值为 -21.4‰、 $\delta^{13}\text{C}_3$  值为 -26.2‰、 $\delta^{13}\text{C}_4$  值为 -27.5‰；克拉苏 1 号参数井 5116.5~5112.5m 井段白垩系含气层中采到的气样  $\delta^{13}\text{C}_1$  值为 -17.3‰、 $\delta^{13}\text{C}_2$  值为 -23.8‰、 $\delta^{13}\text{C}_3$  值为 -25.6‰，为典型的无机成因烷烃气<sup>[17]</sup>。

东海盆地天外天上第三系的气的  $\delta^{13}\text{C}_1$  值为 -17‰、 $\delta^{13}\text{C}_2$  值为 -22‰、 $\delta^{13}\text{C}_3$  值为 -29‰。

(2) 幔源  $\text{CO}_2$  气。松辽盆地东南隆起万金塔构造杨大城子层日产  $131.26 \times 10^4 \text{ m}^3$  的  $\text{CO}_2$  气， $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$  值为 3.0‰，为地球深部幔源  $\text{CO}_2$  气。

渤海湾盆地济阳拗陷为发现无机气最多的区域。已发现的有平方王潜山披覆背斜型  $\text{CO}_2$  气藏、平南断块山气顶型  $\text{CO}_2$  气藏、八里泊残丘型  $\text{CO}_2$  气藏、花 17 断块型  $\text{CO}_2$  气藏。 $\text{CO}_2$  气的碳同位素值，平方王与平南气藏为 -6.9‰~-4.3‰、八里泊与阳 25 井区为 -5.3‰~-4.4‰、花 17 断块为 -4.2‰~-3.4‰，均大于 -10‰，应为无机幔源  $\text{CO}_2$  气。

广东省三水盆地中坑田火山岩刺穿背斜的水深 24 井  $\text{CO}_2$  的碳同位素值为 -5.6‰，罗村民井中  $\text{CO}_2$  的碳同位素值为 -6.2‰，均大于 -10‰，应为幔源气。

(3) 幔源 He 气。济阳拗陷的  $\text{CO}_2$  气藏中均伴生有 He 气，平方王气藏平均含量为 0.219‰、最高达 0.519‰；平南气藏平均含量为 0.129‰；花 17 断块气藏含量最高达 0.847‰；花沟西气藏含量为 0.534‰，均有经济开发价值。He 气的  $^3\text{He}/^4\text{He}$  值，平方王与平南气藏为  $3 \times 10^{-6}$ ~ $5.22 \times 10^{-6}$ 、八里泊与阳 25 井气藏为  $3.07 \times 10^{-6}$ ~ $4.12 \times 10^{-6}$ 、花 17 断块气藏为  $3.64 \times 10^{-6}$ ~ $4.49 \times 10^{-6}$ ，均大于  $1.4 \times 10^{-6}$ ，应为幔源气。

三水盆地中的宝月构造三水农场断块南部发现 He 气异常，伴生于含  $\text{CO}_2$  气的烃气藏中，含量为 1.1‰~4.76‰；在宝月构造东侧的高岗断块上  $\text{CO}_2$  气层中伴生有含量为 1.0‰ 的 He 气；在大榄隆起沙头墟断块、佛山隆起西侧的罗村断块及坑田火山岩刺穿背斜上，He 气含量在 0.048‰~0.3‰ 间。

### 3. 具有多种储层类型

火山活动为沉积盆地送来的岩浆冷凝后成为火山岩或结晶岩，这些岩层或岩体都可以成为油气的储集层。在我国含油气盆地中发现的岩浆岩储层类型有：花岗岩风化壳——松辽肇深 1 井工业气层、流纹岩——松辽芳深 9 井侏罗系工业气层、火山碎屑岩、凝灰岩、玄武岩等。

近些年来在准噶尔盆地、松辽盆地、苏北盆地、渤海湾盆地等的油气勘探中，愈来愈多地发现火山岩类油气层，大有一个火山岩体可能就是一个岩性油气藏之势。岩浆岩储层将是未来油气勘探的重要目的层。

此外，火山活动为沉积盆地带来的热液流体除具有 300~400 的热流外，还具有 pH 值为 4 的弱酸性质，可以对热液流体经过的孔隙通道进行天然酸化处理，使之增加孔隙度和渗透率，从而有利于油气的储集。火山活动对油气的储集条件有着功不可没的贡献。

### 4. 具有深断裂控制油气田分布的模型

研究断穿岩石圈或地壳的深大断裂的活动史，发现多期活动的断裂附近有多套含油气层，主干断裂控制大中型油气田的分布，如大庆油田分布于松辽盆地中央深大断裂带上，而中小型油气田分布于深大断裂的交汇处（对陆相盆地而言）。结合深大断裂与构造区带性质进行分析，发现不同类型的油气藏序列分布受深大断裂控制，如深大断裂的下降盘将出现地层、岩性及牵引构造油气藏，而上升盘将出现潜山型、构造型油气田。为什么断穿基底、地