

# 中国大陆含油气盆地的氦同位素组成 及大地热流密度\*

杜建国<sup>1)</sup> 徐永昌 孙明良

(中国科学院兰州地质研究所, 兰州 730000)

## 摘 要

根据天然气中氦同位素组成, 讨论了中国大陆主要含油气盆地氦同位素地球化学特征与大地热流密度. 不同地区 425 个  $^3\text{He}/^4\text{He}$  值表明中国含油气盆地天然气的氦同位素组成变化范围较大, 为  $4.0 \times 10^{-9}$ — $7.21 \times 10^{-6}$ , 在统计直方图上呈现三个峰值:  $1.5 \times 10^{-8}$ ,  $3.0 \times 10^{-7}$  和  $1.5 \times 10^{-6}$ . 中国东部大陆裂谷系中、新生代盆地内天然气的  $^3\text{He}/^4\text{He}$  值分布范围为  $1.02 \times 10^{-7}$ — $7.21 \times 10^{-6}$ , 50% 以上大于大气的值 ( $1.4 \times 10^{-6}$ ); 其他地区含油气盆地天然气的  $^3\text{He}/^4\text{He}$  值分布范围为  $4.0 \times 10^{-9}$ — $7.01 \times 10^{-7}$ , 全部小于大气的  $^3\text{He}/^4\text{He}$  值. 根据天然气中  $^3\text{He}/^4\text{He}$  值计算的大地热流密度值分布在 30—82mW/m<sup>2</sup> 之间. 利用  $^3\text{He}/^4\text{He}$  值计算的大地热流密度值与用其他方法测得的值相一致, 在中国大陆水平方向上呈现“东高西低”的变化趋势.

**关键词** 天然气, 氦同位素, 大地热流密度, 中国.

## 1 引 言

中国大陆沉积岩分布面积逾  $5 \times 10^6 \text{km}^2$ , 其中古生代沉积岩占 60%. 陆相中、新生代盆地数以百计, 其中面积大于  $10\,000 \text{km}^2$  的有 60 多个, 这些盆地大部分是海西运动形成中国大陆雏形后演化为内陆沉积盆地. 根据盆地形成演化的构造特性, 中国沉积盆地可分为稳定的克拉通型盆地和地堑式或裂谷型盆地. 构造相对稳定性的盆地主要分布于中国中、西部; 中、新生代构造相对活动的裂谷或地堑型盆地主要分布于东部、西南地区和海域中. 通过测定岩石热导率和地热梯度测定了许多地区的大地热流密度(以下称大地热流), 得到的大量数据主要分布于中国东部<sup>[1-5]</sup>. 由于打钻取芯的限制, 许多地方尚未得到大地热流的数据. 研究表明大地热流值与热产率具有线性关系<sup>[6]</sup>; 地下流体中氦同位素比值与大地热流值随地质时间的变化趋势相同, 两种参数间回归分析得到对数线性关系<sup>[7-9]</sup>. 根据这种关系计算的三水盆地的大地热流值大约 60% 是地幔贡献的<sup>[1, 10]</sup>. 近年来天然气的研究积累了大量氦同位素数据<sup>[11-13]</sup>, 为研究中国大陆含油气盆地大地热流奠定了基础. 本文的目的是讨论中国大陆含油气沉积盆地天然气中氦同位素地球化学特征、

\* 国家科技攻关(85-102-15-02-01)和国家基金资助项目(49273185).

1) 现在国家地震局分析预报中心, 北京 100036.

本文1997年12月1日收到修改稿.

大地热流及其热状态。

## 2 含油气盆地天然气氦同位素组成

自1989年中国科学院兰州地质研究所测得第一批天然气的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ ( $R$ )数据以来,开始利用氦同位素地球化学研究中国大陆天然气的成因<sup>[10-15]</sup>,积累了大量氦同位素数据。

氦同位素组成变化范围高达三个量级,为 $4.0 \times 10^{-9}$ — $7.21 \times 10^{-6}$ ,在直方图(图1)<sup>[13]</sup>上呈现三个峰(I, II, III),其峰值分别为 $1.5 \times 10^{-8}$ ,  $3.0 \times 10^{-7}$ 和 $1.5 \times 10^{-6}$ ,三个峰值表明天然气中氦的来源不同。图1中构成峰I的数据主要是中国中、西部含油气盆地天然气的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值,很接近地壳型氦的值( $2 \times 10^{-8}$ ),这些天然气中的氦主要源于地壳。峰II, III的数据主要来自裂谷型断陷盆地,其峰值接近

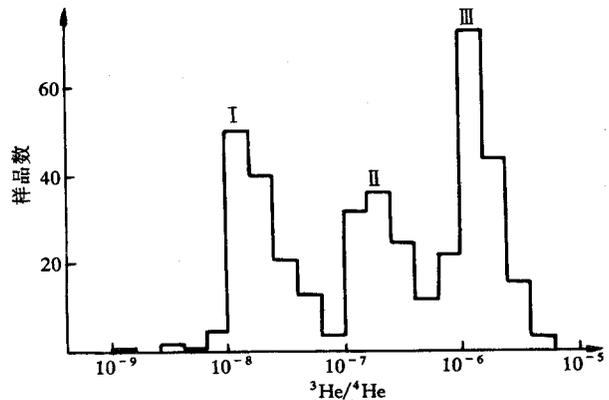


图1 中国天然气中氦同位素分布直方图<sup>[13]</sup>

大气对流层的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值( $R_A = 1.4 \times 10^{-6}$ ),这部分天然气中氦源于地壳和地幔,同时表明控制大气中氦同位素组成的主要因素是地球固体圈层脱气作用。绝大多数天然气的氦来源于地壳和地幔<sup>[10-15]</sup>。表1展示的中国大陆天然气氦同位素组成在水平方向具有以下分布特征:(1)中国东部地区的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值较中、西部的高,并且大多数高于大气的;(2)在裂谷系内几个地幔隆起区的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值明显高于相邻地区的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值;(3)地堑中天然气的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值也较同一盆地内邻区的高;(4)总体上自东而西 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值有明显降低的趋势;(5)中国中、西部自南而北 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值也呈降低的趋势。下面分几个构造区讨论不同盆地天然气氦同位素组成的分布规律。

### 2.1 滨太平洋构造区

滨太平洋构造区系指大兴安岭—太行山—武陵山—一线以东地区,处于太平洋板块与亚洲大陆碰撞的地球动力学环境,构造活动十分活跃,在亚洲大陆东部地幔上隆,引起了弧后扩张。晚侏罗世—白垩纪在华北板块和扬子板块东部发育了一系列裂谷型断陷盆地和以剪切为主的压剪性走滑断裂。地球物理、地球化学和岩石学资料表明,若干断裂切割莫霍界面,新生代基性—超基性岩浆岩源于上地幔软流层。区内大庆、松辽、辽河、大港、华北、胜利、中原、苏北和三水9个油气区256个天然气氦同位素组成数据表明,天然气中 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值分布范围为 $1.02 \times 10^{-7}$ — $7.21 \times 10^{-6}$ (表1)。在直方图上呈双峰,两个峰值分别为 $3.0 \times 10^{-7}$ 和 $1.5 \times 10^{-6}$ 。这种氦同位素特征也是该区构造活动和深部物质运动的地球化学标志。

低 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 峰值反映了天然气中的氦90%以上是壳源氦,百分之几的氦是地幔氦,主要见于新生代火山和深大断裂不发育的地区,如四川、鄂尔多斯、塔里木盆地。高

表1 中国大陆含油气盆地天然气氦同位素组成与计算的大地热流密度值

盆地或 油田	$^3\text{He}/^4\text{He}^{(1)}$			$q/(\text{mW}\cdot\text{m}^{-2})$	
	范围	均值	数量 <sup>2)</sup>	范围	均值
松辽	$1.02\times 10^{-7}$ — $7.21\times 10^{-6}$	$1.60\times 10^{-6}$	48	53—82	72
辽河	$1.20\times 10^{-7}$ — $5.46\times 10^{-6}$	$1.74\times 10^{-6}$	55	54—80	72
大港	$4.19\times 10^{-7}$ — $3.92\times 10^{-6}$	$1.39\times 10^{-6}$	34	62—78	71
胜利	$1.60\times 10^{-7}$ — $4.49\times 10^{-6}$	$2.37\times 10^{-6}$	39	56—79	75
华北	$1.14\times 10^{-7}$ — $3.47\times 10^{-6}$	$8.73\times 10^{-7}$	27	53—77	68
中原	$2.68\times 10^{-7}$ — $1.12\times 10^{-6}$	$6.18\times 10^{-7}$	11	59—68	63
南阳	$(0.39-0.59)\times 10^{-7}$	$4.90\times 10^{-8}$	2	46—49	47
江汉	$(1.12-2.24)\times 10^{-8}$	$1.20\times 10^{-8}$	3	37—42	38
苏北	$4.26\times 10^{-7}$ — $6.94\times 10^{-6}$	$3.01\times 10^{-6}$	30	63—82	76
三水	$(1.60-6.39)\times 10^{-6}$	$4.24\times 10^{-6}$	12	72—82	77
鄂尔多斯	$(1.91-7.70)\times 10^{-8}$	$3.74\times 10^{-8}$	25	41—51	46
四川	$(0.40-4.86)\times 10^{-8}$	$1.89\times 10^{-8}$	57	30—47	41
莺歌海	$8.26\times 10^{-8}$ — $4.20\times 10^{-7}$	$1.80\times 10^{-7}$	5	51—63	57
百色	$(2.21-4.84)\times 10^{-8}$	$1.89\times 10^{-8}$	4	42—47	41
柴达木	$(2.94-4.20)\times 10^{-8}$	$3.50\times 10^{-8}$	4	44—46	45
吐哈	$(2.87-8.50)\times 10^{-8}$	$4.47\times 10^{-8}$	16	44—51	47
准噶尔	$(0.27-5.36)\times 10^{-7}$	$1.40\times 10^{-7}$	18	43—64	54
伊犁	$(0.23-4.72)\times 10^{-7}$	$1.80\times 10^{-7}$	3	42—63	57
塔里木	$2.09\times 10^{-8}$ — $2.35\times 10^{-7}$	$6.07\times 10^{-7}$	32	42—58	49

注: 1)资料来源主要为参考文献[10—14]以及本文的工作; 2)“数量”系指统计用的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值个数。

$^3\text{He}/^4\text{He}$  峰值及其右端反映了天然气中有较多的地幔氦(13%—66%),高地幔氦天然气主要见于新生代地幔隆起区和深大断裂带附近,如三水盆地、苏北、下辽河界3井、松辽万金塔等地区的高氦天然气。

## 2.2 欧亚板块与印度板块碰撞构造带

该带位于中国大陆西南缘西藏、云南两省区。印度板块与欧亚板块相碰撞,在喜马拉雅山北麓和横断山区形成了一系列深断裂。在喜山运动中由于塔里木板块北面阻挡,南面印度板块向北俯冲、挤压,使整个青藏地区上隆,形成世界屋脊。整个区内构造活动强烈,地震经常发生,存在震源深度为70—300km的中源地震。在雅鲁藏布江两侧温泉密布,间歇泉、沸泉众多;热泉排布方向与构造方向一致。西藏南部10—20km深度以下局部可能存在正在冷却的岩浆囊<sup>[4]</sup>。该区温泉气氦同位素组成( $R/R_A$ )值分布范围为0.12—5.13。西藏羊八井热泉气的氦同位素比值较低( $R/R_A = 0.2$ ),幔源氦的相对含量很低,氦主要源于巨厚的地壳。

云南西部腾冲地区位于欧亚板块的边缘,印度板块与欧亚板块的缝合线上。腾冲地区内部活动断层极为发育,岩浆侵入活动频繁,有过多次火山喷发,打鹰山、马鞍山最后一次火山喷发有可能是在近代,该区玄武岩浆活动较新,构成了腾冲地热流体的地下热源。腾冲地区热水气体主要以二氧化碳、氮和氩为主,氮和氩的含量一般低于1%。氦的

同位素组成  $R/R_A$  值为 0.49—5.13<sup>[16]</sup>。火山活动区内热泉气的  ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$  值较高, 为  $(3.21—7.18) \times 10^{-6}$ , 并与氦含量呈正相关关系, 表明幔源氦的相对含量较高; 而在非火山区的较低, 为  $(6.7—9.3) \times 10^{-7}$ , 幔源氦的相对含量较少。

### 2.3 其他构造区

扬子板块西部的四川盆地、华北板块的鄂尔多斯盆地、塔里木板块和准噶尔板块, 在新生代构造活动较弱, 天然气的氦同位素比值较低,  $R/R_A$  值均小于 1, 接近于地壳型  ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$  值 ( $2 \times 10^{-8}$ )。天然气中的氦主要源于地壳。

## 3 含油气盆地大地热流密度

研究表明热流值与构造形成的时间无关, 而与新构造活化相关; 中生代以前形成的构造未经新构造运动的活化, 它们的大地热流值差别甚小, 而经新构造活化的古构造具有较高的大地热流值<sup>[17]</sup>。大地热流能够反映含油气盆地的热状态。利用其他方法测定、研究含油气盆地大地热流和地热已有许多文献<sup>[2-5, 18]</sup>。下面主要讨论利用天然气氦同位素组成计算含油气盆地的大地热流和盆地的热状态。由于大地热流主要由地幔和地壳来源热构成, 天然气中氦也主要源于地幔和地壳, 即地热和  ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$  值都与地壳中放射性元素、地幔能量物质有关, 所以天然气氦同位素组成与大地热流有成因联系。大地热流值与  ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$  值有如下关系<sup>[8]</sup>:

$$({}^3\text{He}/{}^4\text{He}) \times 10^8 = \exp(0.143q - 5.3),$$

式中,  ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$  为测得天然气中氦同位素比值;  $q$  为大地热流值 (单位:  $\text{mW}/\text{m}^2$ )。在一些地区利用上面公式估算的大地热流值在测量误差范围内与实测值基本一致, 但是该经验公式不适用于热点和构造特殊的地区<sup>[1, 15]</sup>。利用天然气中  ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$  值计算的中国含油气盆地大地热流值见表 1 和图 2, 图 2 中同时标注了利用其他方法测得大地热流值<sup>[5]</sup>, 在测量精度  $\pm (5\%—10\%) \text{mW}/\text{m}^2$  内计算的  $q$  值与测值相符。估算的  $q$  值能定量地反映出含油气盆地的热状态。下面简述中国大陆主要含油气区根据天然气中  ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$  值估算的大地热流值及其所反映的盆地热状态。

**松辽盆地** 位于中国东北, 中生代陆相沉积厚约 6 800m, 其中白垩系发育完整, 厚度大, 分布广。盆地内至少有三套好的生储盖组合。在中央坳陷和东南隆起两个构造区内, 48 个天然气氦同位素组成 ( ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$ ) 分布范围为  $1.02 \times 10^{-7}—7.21 \times 10^{-6}$ , 平均值为  $1.60 \times 10^{-6}$ <sup>[13]</sup>。计算的大地热流值分布范围为 53—82  $\text{mW}/\text{m}^2$ , 根据  ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$  值的平均值计算的大地热流值为 72  $\text{mW}/\text{m}^2$ 。松辽盆地实测的大地热流值分布范围和平均值 ( $Q$ ) 分别为 49—95  $\text{mW}/\text{m}^2$  和 70  $\text{mW}/\text{m}^2$  (表 1)。考虑到大地热流测值的误差范围 ( $\pm (3.5—7) \text{mW}/\text{m}^2$ ), 和测量点与天然气井位置的差异, 可以认为计算值与实测值是一致的。与全球大地热流平均值相当的中国大地热流平均值 (61  $\text{mW}/\text{m}^2$ , 统计量  $n = 366$ ) 和华北地温梯度研究资料<sup>[2]</sup>对比, 松辽盆地平均大地热流值高出 11  $\text{mW}/\text{m}^2$ 。松辽盆地下部上地幔隆起幅度较高, 天然气的  ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$  值也较高, 这表明大地热流值高与地幔热贡献有关。高的大地热流值是大庆油田形成的主要有利条件之一。

**辽河盆地** 位于辽宁省境内, 为一新生代裂谷型断陷盆地。它与辽东湾构成辽河

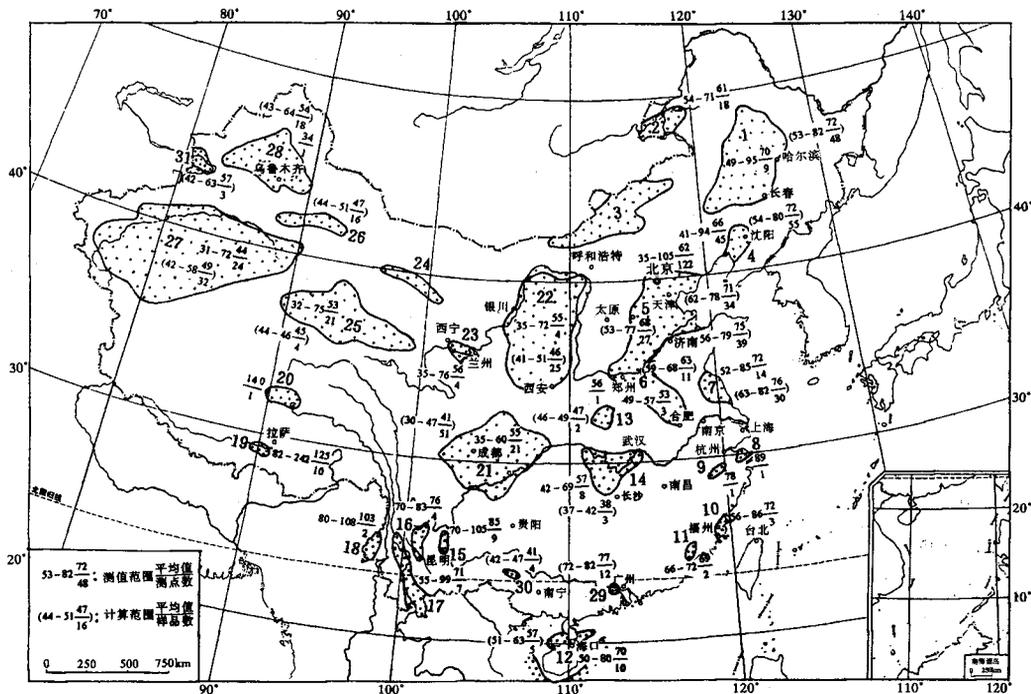


图2 中国大陆沉积盆地大地热流分布

1. 松辽; 2. 海拉尔; 3. 二连; 4. 下辽河; 5. 冀鲁; 6. 豫皖; 7. 苏北; 8. 宁波; 9. 金衡; 10. 福州; 11. 漳州; 12. 莺歌海; 13. 南阳; 14. 江汉; 15. 昆明; 16. 楚雄; 17. 兰坪—思茅; 18. 腾冲; 19. 羊卓雍; 20. 伦坡拉; 21. 四川; 22. 鄂尔多斯; 23. 甘南; 24. 酒泉; 25. 柴达木; 26. 吐哈; 27. 塔里木; 28. 准噶尔; 29. 三水; 30. 百色; 31. 伊犁盆地。括弧中的数据为计算的大地热流值, 不带括弧的数据引自文献[5]。大地热流单位:  $\text{mW}/\text{m}^2$ 。

裂谷, 是渤海裂谷系的北分支, 具有与渤海湾油气区共同的形成演化史。计算的大地热流值分布范围为  $54\text{--}81\text{mW}/\text{m}^2$ , 平均为  $73\text{mW}/\text{m}^2$  (表1)。辽河盆地内深大断裂和裂谷带较强的地幔活动是大地热流值高的主要因素, 该区地热异常强度较高, 也是形成富集型油气田的有利条件。

**大港油田** 在黄骅拗陷的范围内, 黄骅拗陷属于新生代裂谷型盆地。第三系盆地沉积厚度达  $4\ 500\text{m}$ 。计算的大地热流值为  $60\text{--}78\text{mW}/\text{m}^2$ , 平均值为  $71\text{mW}/\text{m}^2$  (表1)。大港油田地热异常的原因和地质效应与辽河盆地的类似。

**胜利油田** 位于山东省西北部, 在济阳拗陷内。计算的大地热流值为  $56\text{--}79\text{mW}/\text{m}^2$ , 平均值为  $75\text{mW}/\text{m}^2$ 。与中国大地热流平均值相比, 该区地热异常明显, 并且较前述三个地区的地热异常强度要大。

**华北油田** 在冀中拗陷内。计算的大地热流值范围与平均值分别为  $53\text{--}77\text{mW}/\text{m}^2$  和  $68\text{mW}/\text{m}^2$ 。华北油田大地热流值稍高于全球大地热流平均值, 地热异常强度不高。

**中原油田** 位于鲁东豫西地区, 在东濮拗陷内。东濮凹陷文留和白庙两个地区, 估算的大地热流值为  $59\text{--}68\text{mW}/\text{m}^2$ , 平均值为  $63\text{mW}/\text{m}^2$  ( $n = 11$ ), 接近于全球大地热流平均值。靠近兰聊断裂带的大地热流值较高。

**苏北含油气区** 估算的大地热流值为  $63\text{--}82\text{mW}/\text{m}^2$ , 平均值为  $76\text{mW}/\text{m}^2$  ( $n =$

30), 明显地高于全球大地热流平均值。这种高的大地热流与该区上地幔强烈上隆有关。

**三水盆地** 估算的大地热流值为  $72\text{--}82\text{mW}/\text{m}^2$ , 平均值为  $77\text{mW}/\text{m}^2$  ( $n = 12$ )。该区显著的地热异常与三水盆地第三纪火山活动和上地幔上隆有关。

**塔里木盆地** 塔里木盆地历史悠久, 震旦纪开始发育, 在其演化过程中存在着性质极不相同的原型盆地, 构造运动十分频繁, 几乎每个纪之间都曾发生过明显的构造运动。盆地内有四大套生油岩, 其成烃高峰期也有差异。下奥陶统一寒武系的生油高峰期为泥盆纪, 中、上奥陶统的成油高峰期为二叠纪, 石炭一二叠系的生油高峰期为白垩纪, 三叠一侏罗系的生油高峰期持续到现今。塔里木盆地计算的大地热流最小值和最大值分别为  $42\text{mW}/\text{m}^2$  和  $58\text{mW}/\text{m}^2$ , 平均值为  $49\text{mW}/\text{m}^2$ 。该区计算的大地热流值与实测值(图 2)很一致, 都明显低于全球大地热流平均值, 存在明显地热负异常, 呈现低温特点。

**准噶尔盆地** 位于新疆北部。计算的大地热流值为  $43\text{--}64\text{mW}/\text{m}^2$ , 平均值为  $54\text{mW}/\text{m}^2$ , 稍低于中国大地热流平均值。

**吐哈盆地** 位于新疆境内, 北面由西向东与喀拉成山、巴里坤山、哈尔里克山接壤, 南与觉罗塔克山和南湖戈壁毗邻, 呈东西长(600km), 南北窄(10—130km)的长条形。计算的大地热流值为  $44\text{--}51\text{mW}/\text{m}^2$ , 平均值为  $47\text{mW}/\text{m}^2$ , 明显低于中国大地热流平均值, 这表明该区处于低热状态。

**四川盆地** 为中、新生代盆地, 盆地演化以稳定沉降为特征, 形成了厚逾 1 万 m 的沉积盖层。计算的大地热流值为  $30\text{--}47\text{mW}/\text{m}^2$ , 平均值为  $41\text{mW}/\text{m}^2$ , 相当于全球大地热流平均值的  $2/3$ , 具有显著的地热负异常, 处于低热状态。

**百色盆地** 估算的大地热流值为  $41\text{--}47\text{mW}/\text{m}^2$ , 平均值为  $44\text{mW}/\text{m}^2$ , 其大地热流值明显低于全球平均值, 处于低热状态。

**鄂尔多斯盆地** 大地热流值较低(表 1, 图 2), 也处于低热状态。

总之, 中国大陆含油气盆地地热特征为东部大陆裂谷系内的盆地大地热流值明显高于中、西部稳定地块含油气盆地内的大地热流值。大地热流值的分布特征与盆地所处的地热背景相一致。新构造运动明显的东部地区, 特别是新生代以来上地幔隆起幅度大的地区, 地温、地温梯度较高, 而中、西部构造稳定区盆地内呈低热状态, 地温、地温梯度都较低。

## 4 结 语

中国天然气中  $^3\text{He}/^4\text{He}$  值变化范围高达三个量级, 425 个数据统计直方图上三个峰值较好地反映了不同构造特性含油气盆地中氦的来源。中国东部地区  $^3\text{He}/^4\text{He}$  值较中、西部高, 并且大多数高于大气的, 在裂谷系内几个地幔隆起区天然气的  $^3\text{He}/^4\text{He}$  值和大地热流值较高, 地堑或大断裂带天然气的  $^3\text{He}/^4\text{He}$  值和大地热流值也比同一盆地内邻区的高。根据天然气中  $^3\text{He}/^4\text{He}$  计算的大地热流值为  $30\text{--}82\text{mW}/\text{m}^2$ , 与用其他方法测得热流值一致, 中国大陆水平方向上呈现“东高西低”的变化趋势, 东部的盆地处于高热状态, 西北的盆地处于低热状态。

笔者衷心感谢汪集暘院士对本文提出了建设性意见。

### 参 考 文 献

- 1 Du J, Liu W. Isotopic geochemistry of nonhydrocarbons in natural gas from Sanshui Basin, Guangdong Province, *Chinese J. Geochem.*, 1991, 10(4):318—325
- 2 陈墨香. 华北地热. 北京: 科学出版社, 1988
- 3 陈墨香, 邓 孝. 华北平原新生界盖层地温梯度图及其说明. 地质科学, 1990, (3): 269—277
- 4 王 钧, 黄尚瑶, 黄歌山, 汪集暘. 中国地温分布基本特征. 北京: 地震出版社, 1990
- 5 汪缉安, 汪集暘. 中国大陆沉积盆地地热特征与油气资源, 见: 赵重远主编. 含油气盆地地质学进展. 西安: 西北大学出版社, 1993. 227—233
- 6 Morgan P, Sawka W N, Furlong K P. Background and implications of the linear heat flow—heat production relationship. *Geophys. Res. Lett.*, 1987, 14(3):248—251
- 7 Polyak B G, Tolstikhin I N, Yakutseny V S. Isotope composition of helium and heat flow—geochemical and geophysical aspects of tectogenesis. *Geotektonika*(in Russian), 1979, 5:3—23
- 8 Polyak B G, Prasolov E M, Cermak V, et al. Isotopic composition of noble gases in geothermal fluids of the Krusne Hory Mts. Czechoslovakia, and the nature of the local geothermal anomaly. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1985, 49:695—699
- 9 Mamyrin B A, Tolstikhin I N. Helium isotopes in nature. Amsterdam—Oxford—New York—Tokyo: Elsevier, 1984. 162—184
- 10 戴金星, 宋 岩, 戴春森等. 中国东部无机成因气及其气藏形成条件. 北京: 科学出版社, 1995. 62—79
- 11 杜建国, 刘文汇. 三水盆地非烃天然气地球化学. 地球化学, 1993, (1): 28—34
- 12 杜建国, 王先彬, 谢鸿森. 深部物质运动的气体地球化学特征. 地球科学进展, 1994, 9(3): 48—51
- 13 孙明良, 陶明信, 徐永昌, 沈 平. 中国含油气盆地天然气中氦同位素分布的构造地球化学特征. 见: 徐永昌主编. 中国科学院兰州地质研究所气体地球化学国家重点实验室研究年报(1990—1992). 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1993. 199—206
- 14 杜建国, 徐永昌, 刘文汇, 孙明良. 非烃气体地球化学. 见: 徐永昌等, 天然气成因理论及应用. 北京: 科学出版社, 1994. 270—316
- 15 Du J. Helium isotope evidence of mantle degassing in rift valley, Eastern China. *Chinese Sci. Bull.*, 1994, 39(12):1021—1024
- 16 王先彬, 徐 胜, 陈践发等. 腾冲火山区温泉气体组分和氦同位素组成特征. 科学通报, 1993, 39(9): 814—817
- 17 陈彭年, 高莉青. 地热异常研究综述. 高莉青等译. 地热研究与应用. 北京: 地震出版社, 1990. 1—5
- 18 汪缉安. 油田地温研究. 见: 全国地热学术会议论文选集编辑组. 全国地热学术会议论文选集. 北京: 科学出版社, 1981. 138—145

## HELIUM ISOTOPES AND HEAT FLOW IN THE OIL AND GAS BEARING BASINS IN CHINA'S CONTINENT

DU JIAN-GUO, XU YONG-CHANG SUN MING-LIANG

(Lanzhou Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

### Abstract

The paper discusses the distribution of helium isotopes in natural gas and heat flow of oil and gas bearing basins in China's Continent. Statistical results of 425 helium isotope ratios show that the  $^3\text{He} / ^4\text{He}$  values of natural gases from different parts of China have a wide range of  $4.0 \times 10^{-9} - 7.21 \times 10^{-6}$ , and there are three peak values on the histograms:  $1.5 \times 10^{-8}$ ,  $3.0 \times 10^{-7}$  and  $1.5 \times 10^{-6}$ .  $^3\text{He} / ^4\text{He}$  values of natural gases in the continental rift valley are between  $1.02 \times 10^{-7}$  and  $7.21 \times 10^{-6}$  of which more than 50 percent is higher than that of atmosphere ( $1.4 \times 10^{-6}$ ). The helium isotope ratios of natural gases from other parts of China scatter from  $4.0 \times 10^{-9}$  to  $2.35 \times 10^{-7}$ . Natural gases from unstable tectonic regions in Cenozoic era have higher ratios of helium isotopes than those from stable tectonic regions. There is a good correlation between  $^3\text{He} / ^4\text{He}$  values and heat flow in most of the continental sediment basins. The calculated values of heat flow in the oil and gas bearing basins have a range of  $30 - 82 \text{mW} / \text{m}^2$  which is concordance with the measured values within the accuracy of  $\pm 3.5 - 7 \text{mW} / \text{m}^2$  for determining heat flow. The estimated values of heat flow reveal a decreasing trend from the Eastern to Western China.

**Key words** Natural gas, Helium isotope, Heat flow, China.

**作者简介** 杜建国,男,1956年10月生,研究员,主要从事地球化学、石油地质和地质灾害研究工作。