

稳定、次稳定构造盆地天然气氦同位素特征及其构造学内涵*

郑建京¹ 刘文汇^{1,2} 孙国强¹ 曹春萍³ 胡慧芳¹ 徐永昌¹

1. 中国科学院气体地球化学重点实验室, 兰州 730000; 2. 中国石化石油勘探开发研究院, 北京 100083;
3. 上海理工大学计算机学院, 上海 200093

摘要 分析了采自稳定和次稳定盆地的鄂尔多斯和塔里木盆地古生界和中生界天然气的 He 和 Ar 同位素, 试图用³He/⁴He值体现的壳-幔挥发分交换信息对我国中部和西部区域的构造活动性作精细分析. 鄂尔多斯盆地³He/⁴He < 5.0 × 10⁻⁸, R/R₀ 为 0.01—0.04, 平均值为 0.031, 为典型的壳源 He 同位素组成; 塔里木盆地³He/⁴He分布相对较分散, 塔中油气区和满加尔拗陷区域主要表现为构造稳定区的特征, ³He/⁴He < 5.0 × 10⁻⁸, 库车拗陷东部牙哈和迪纳油气区³He/⁴He均 < 3.81 × 10⁻⁸, 库车拗陷西部³He/⁴He > 5.0 × 10⁻⁸, 构造活动性发育强度东部和西部存在较大差异. 塔北隆起区和中新生代以前陆盆地为主要表现形式的塔西南拗陷以及巴楚隆起发育的和田河气区³He/⁴He > 5.0 × 10⁻⁸, 表现出构造次稳定区天然气氦同位素的特征. 构造活动相对强烈区阿克1井天然气³He/⁴He高达 8.33 × 10⁻⁷, 说明在天然气形成过程中有一定量的幔源 He 的加入. 研究表明, 在西部次稳定区, 用³He/⁴He值可以精细划分区域构造的相对活动性.

关键词 油气盆地 构造 稳定性 稀有气体同位素 碳同位素

天然气中轻稀有气体 He 和 Ar 的同位素组成蕴涵着烃源岩的可能年代^[1-5]和区域构造活动性的信息. 徐永昌等^[6,7]根据天然气稀有气体³He/⁴He值将中国含油气区划分为几个不同构造活动性的区块.

(1) 东部区, 包括大兴安岭、太行山、武陵山构造地球物理梯度带以东的诸含油气盆地, 特征是天然气中的³He/⁴He值普遍偏高, 主频值为 10⁻⁶—10⁻⁷. 近邻庐大断裂带两侧分布的诸含油气盆地³He/⁴He以 10⁻⁶量级为主, 偏离邻庐断裂带的华北、中原油气区的³He/⁴He平均值分别为 7.07 × 10⁻⁷—6.47 × 10⁻⁷. 天然气中幔源氦份额高的原因与邻庐大断裂密切相关.

(2) 中部含油气区, 介于太行山、武陵山和贺兰山、龙门山两大构造地球物理梯度带之间, 包括鄂尔多斯、四川和百色等含油气盆地. 氦同位素组

成的特征是³He/⁴He值为 10⁻⁸量级, 具有典型壳源放射性成因氦特征. 该区远离太平洋、喜马拉雅和古亚洲洋三大构造活动域, 具有稳定的地球动力学环境, 盆地也相应具有稳定而长期的内陆沉降历史, 是中国构造最稳定的地区.

(3) 西北构造域, 该区盆地的形成演化主要受周缘造山带构造活动的控制, 周缘的动力学环境与构造变形相应的强于盆地内部, 为次稳定盆地. 含油气盆地的³He/⁴He值为 10⁻⁷—10⁻⁸量级. 过去的研究工作以东部为主, 资料丰富研究较详, 对中部和西部地区仅给出了重要的总体概念.

作者基于近几年对中、西部稳定和次稳定盆地的研究, 本文将天然气中³He/⁴He值为主, 辅以⁴⁰Ar/³⁶Ar及烃类碳同位素等资料, 进一步挖掘中、西部含油气区的天然气中氦同位素组成的构造学内

2004-10-26 收稿, 2005-02-01 收修改稿

* 国家重点基础研究发展规划(2001CB209102)和中国科学院知识创新重要方向(编号: KZCX3-SW-128)资助项目

E-mail: jjzheng@lazb.ac.cn

涵,对稳定、次稳定盆地的区域构造活动性作进一步的精细层次讨论。

1 样品采集和测量

本次研究分析了塔里木盆地不同构造区块的28个天然气样品,鄂尔多斯盆地中部气田和苏里格气区的13个气样,并复测了以往采集的中国东部各含油气盆地的50个气样。 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 和 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 以及烃类碳同位素均由中国科学院兰州地质研究所气体地球化学重点实验室完成。 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 和 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 是在VG-5400质谱计上一次进样在线测量,测量精度分别为3%—5%和3%。烃类碳同位素测量是用MT252质谱计在线测量完成,分析精度为0.5‰。稳定、次稳定盆地天然气 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 和 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 及天然气 $\delta^{13}\text{C}_1$ 的测量结果汇总于表1中。

2 结果与讨论

自然界中He有两种稳定同位素 ^3He 和 ^4He 。两

者在成因上存在着显著的差异。 ^3He 主要是元素合成时的原始核素,而 ^4He 则主要是地球上放射性元素U, Th自然衰变的产物。 ^3He 、 ^4He 这种成因上的差异,导致自然界的氦由于成因的不同而具有各自特征的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值。壳源成因的氦, $^3\text{He}/^4\text{He}$ 的表征值为 2×10^{-8} ,大气和幔源成因者分别为 1.4×10^{-6} 和 1.1×10^{-5} [4]。通常习惯于用大气氦的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值(R_a)对研究讨论的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值(R_s)进行标准化,表达为 R/R_a 。对于幔源氦 $R_m/R_a = 7.9$,壳源氦 $R_c/R_a = 1.4$,即可表达为 $R_m = 7.9 R_a$, $R_c = 0.14 R_a$ 。

中国含油气区天然气中氦同位素研究表明, $^3\text{He}/^4\text{He}$ 分布在 10^{-8} — 10^{-6} 范围,随着 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值的增大,意味着幔源挥发分逸出作用的增强。幔源挥发分在天然气中份额的增大,也就是壳-幔间经过断裂体系相互沟通加强,作者正是利用这种特性,尝试对中、西部的区域构造活动性作相对精细的划分。

表1 稳定或次稳定盆地天然气稀有气体同位素数据表^{a)}

地区		$\delta^{13}\text{C}_1/\text{‰}$	$^3\text{He}/^4\text{He}$	R/R_a	$^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$
鄂尔多斯盆地	苏里格	-35.3[5] -34.8—-35.9	2.62×10^{-8} [14] (2.07 — 4.17) $\times 10^{-8}$	0.022[13] 0.01—0.03	968[13] 303—1494
	中部气区		3.88×10^{-8} [9] (5.0 — 3.6) $\times 10^{-8}$	0.032[9] 0.03—0.04	987.3[9] 487—1509
四川盆地	威远 ^[7]	-32.5[3] -32.2—-33.6	2.65×10^{-8} [4] (1.8 — 3.03) $\times 10^{-8}$	0.019[4] 0.013—0.022	6559[5] 2855—9255
	塔中、北部	-40.2[7] -34.1—-43.7	3.44×10^{-8} [7] (3.06 — 4.96) $\times 10^{-8}$	0.023[6] 0.02—0.03	780.2[7] 554—1216
塔里木盆地	轮古	-35.8[2] -34.7—-36.9	3.86×10^{-8} [2] (4.28 — 3.43) $\times 10^{-8}$	0.025[2] 0.02—0.03	448[2] 415—481
	轮南	-35.4[3] -34.1—-37.1	6.47×10^{-8} [3] (5.36 — 8.33) $\times 10^{-8}$	0.047[3] 0.04—0.06	815[3] 624—959
	牙哈、迪那	-33.9[7] -30.7—-35.1	2.93×10^{-8} [9] (2.47 — 3.81) $\times 10^{-8}$	0.02[9]	614[9] 504—727
	库车	-32.3[5] -28.5—-34.9	5.95×10^{-8} [5] (5.32 — 6.78) $\times 10^{-8}$	0.044[5] 0.04—0.05	866.8[4] 1120—624
	其他				
	柯克亚	-36.6[9] -28.2—-38.5	7.9×10^{-8} [5] (7.3 — 8.61) $\times 10^{-8}$		782.5[4] 605—982
	沙雅 ^[3]	-41.75[2] -41.1—-42.4	2.15×10^{-7} (2.13 — 2.19) $\times 10^{-7}$		2034.5[2] 1735—2334
	阿克1井	-23.0	8.3×10^{-7}	0.60	1438

a) 方括号中数字为分析测试的样品数量

2.1 中国不同构造区块盆地构造动力学条件

从表1数据可以看出:与中国东部相比,中部和西部各盆地的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 具有较低的值,总体处于 $10^{-8}-10^{-7}$ 量级,这在以往研究中已予以肯定^[6,7],即大的格局从 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值体现的构造学内涵是东部盆地幔源挥发分逸出明显,构造活动性较强.中、西部盆地超壳断裂不甚发育,加之地壳厚度比东部诸盆地大得多,幔源挥发分逸出不明显,构造活动性相对较弱.

中国大陆自海西构造运动末期-印支构造运动早期,各主要海槽基本碰撞关闭并褶皱成山,焊接为统一的大陆板块,构成中生代山-盆体系,形成在印度板块和太平洋板块夹持作用下,以板内构造特点发展演化的构造格局^[8],其大地构造动力学背景,东部受太平洋板块俯冲碰撞以及郯城-庐江等深大断裂存在的影响,形成一系列走向北北东的裂谷断陷系,动力学背景主要表现为拉张环境,且地堑、裂谷发育时期由西向东存在逐渐变新的特征^[9],其形成的主要原因是地幔热膨胀中心随着太平洋板块俯冲的加剧发生东移,形成构造活动性盆地.由于深大断裂的存在和地幔热膨胀作用,沟通上部沉积层系与深部或幔源通道,深部气体挥发分可直通上部沉积层系.中国西部因印度板块和欧亚板块碰撞的应力远距离传递影响,表现为挤压-扭动的动力学环境,构造相对活动区主要分布在盆地的边缘区带,并使沉积盆地边缘多发生构造挠曲沉降、冲断推覆和沉积、沉降、生烃中心于不同时期的迁移,构成构造活动次稳定盆地区.中部两大沉积盆地中新代表征出构造运动强度小,且相对稳定.中西部盆地一般是在前克拉通基础上发育形成,而中生代构造活动由于构造动力机制转换作用主要表征为上部层位沉积层系的构造变形,缺乏深大断裂与地壳深部沟通,深部气体挥发分影响天然气稀有气体同位素性质的几率很小.中国不同构造活动区沉积盆地的地温场特征亦说明了这一点^[10,11].

2.2 天然气氦同位素特征及其构造学内涵

本文的目的拟根据完成的一批中、西部天然气中 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 的新数据,辅以过去的研究工作,对不同区域的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值作精细讨论,试图揭示出氦同

位素所蕴涵的更深层次的构造学内涵,具体分析从表1的数据可以看出.

2.2.1 稳定构造盆地天然气氦同位素特征 对于中部地区的四川和鄂尔多斯盆地, $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值均小于 5×10^{-8} ,四川威远气区具有很低的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值和很高的 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 值,天然气 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 分布在 $1.3 \times 10^{-8} - 3.03 \times 10^{-8}$, $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 分布在2855-9255,平均为6559.1^[5],即体现了区域的稳定性,又是该区烃源岩具有最老的年代积累效应的反映,威远气藏储层为震旦系,因是古老的气藏得以保存,其 $\delta^{13}\text{C}_1$ 值平均为-32.5‰,在一定程度上也是区域构造相对稳定的一种佐证.中部地区的鄂尔多斯盆地天然气 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 具有稍高于四川威远气藏的 $^3\text{He}/^4\text{He}$,盆地腹部两大主力气区苏里格天然气稀有气体 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 分布在 $2.07 \times 10^{-8} - 4.17 \times 10^{-8}$,平均为 2.62×10^{-8} , R/R_a 平均值为0.022, $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 为303-1494;中部气区 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 分布在 $5.0 \times 10^{-8} - 3.6 \times 10^{-8}$,平均为 3.88×10^{-8} , R/R_a 平均值为0.032, $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 为487-1509,均表征为典型的壳源氦(表1).鄂尔多斯盆地天然气 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 值分布在303-1509之间,表现为来自于源岩年代积累效应,可以认为是源岩年代小于威远气藏的源岩,因而壳源氦积累小于威远气藏的结果.

地质研究表明,鄂尔多斯盆地和四川盆地构造性质均为古克拉通边缘盆地(晚古生代)或内陆沉降拗陷盆地(中生代)^[12,13],构造运动强度较弱,盆地范围内缺少深大断裂的发育,属构造稳定型陆块.可见,无论是鄂尔多斯盆地的苏里格庙气区和中部气区,还是四川盆地威远气区,较低的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值其所蕴涵的构造地质学内涵表现为稳定的大地构造背景.

2.2.2 次稳定构造盆地天然气氦同位素特征 塔里木盆地为长期发展演化的构造叠合型盆地,中生代盆地腹部相对构造运动强度微弱,边缘发育有一些范围不等的沉降拗陷,新生代在盆缘区域及巴楚隆起区域发育形成了相对构造强变形作用,属构造次稳定盆地.以往研究由于受油气勘探开发程度的限制,虽将塔里木盆地定义为构造次稳定盆地,但不同构造区块所能采集的天然气稀有气体数据相对

较少, 带有很大的推测性. 本次研究是在塔里木盆地油气勘探不断深入, 油气开发取得重要进展的前提下的深入研究, 对塔里木盆地不同构造区块天然气均有样品分析数据, 结合以往研究数据, 使我们可以对塔里木盆地次稳定活动性质进行进一步研究.

结合地质资料, 根据稀有气体同位素研究可以将塔里木盆地分为三个亚区: 即以塔中和哈德油气区为代表的台盆构造稳定区, 包括满加尔拗陷东部

区域; 库车与塔西南为代表的板内前陆区的中前部冲断带, 包括塔北隆起和麦盖提斜坡, 为构造次稳定区; 以阿克1井为代表的“盆—山耦合带”, 构成次稳定盆地中的构造相对活动带(图2).

从塔里木盆地稀有气体同位素 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 与 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 关系图中可以看出, 台盆区构造稳定区天然气 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值主体处于小于 5.0×10^{-8} 量级(图1), $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 分布在343—1438之间(表1). 天然气中稀有气体以壳源为主.

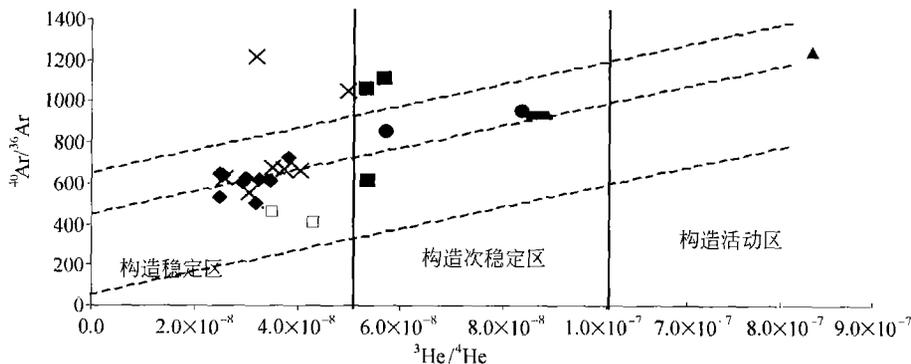


图1 塔里木盆地天然气 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 与 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 关系图

◆ 迪那、牙哈气区; ■ 库车拗陷其他气区; □ 轮古; ▲ 阿克1井; ● 轮南; ■ 柯克亚; × 塔中;
图中虚线显示出: 在氩同位素值相等或近似时, 氦同位素值因构造的稳定性不同而存在差异,
构造越稳定的区域, 氦同位素值越低

库车前陆拗陷以及塔北隆起构造带和塔西南前陆拗陷以及巴楚构造隆起带, $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值主体峰值大于 5.00×10^{-8} . 库车拗陷东部牙哈和迪那油气区 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 分布为 $2.47 \times 10^{-8} - 3.81 \times 10^{-8}$, 库车拗陷西部 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 分布为 $5.32 \times 10^{-8} - 6.78 \times 10^{-8}$, 这与库车拗陷东部和西部构造活动性发育强度存在较大差异特征是一致的. 塔北隆起区和中新生代以前陆盆地为主要表现形式的塔西南拗陷以及巴楚隆起发育的和田河气区 $^3\text{He}/^4\text{He} > 5.0 \times 10^{-8}$, 表现出构造次稳定区天然气氦同位素的特征.

盆—山耦合带, 位于盆地西部边缘喀什拗陷阿克莫木区的阿克1井, $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比值更高达 8.34×10^{-7} , $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 为1438, 是目前盆地中 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比值分布最大的样品. 阿克1井气藏发育的阿克莫木区构造位置位于南天山断褶带与西昆仑断褶带所夹持的一个狭长强烈沉降区, 由于特提斯构造域的关闭与碰撞, 帕米尔突刺在中生代的持续北移, 形成

为中生代强烈构造变形区带. 气藏构造发育带地处两大断褶带汇聚之地, 又位于南天山断褶带边缘区带大断裂带南侧, 有利于壳幔挥发分交换作用的增强, 而甲烷碳同位素重达-23‰, 从侧面印证了这一构造地质背景较为活动地区天然气藏中有深部稀有气体介入的可能.

研究表明, 在塔里木盆地次稳定区, 不同构造区块的构造活动性相对强弱可以用 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值精细划分. 塔里木盆地天然气轻稀有气体同位素分析表明, 作为构造次稳定活动盆地, 不同构造区块在中新生代其构造运动强度存在有相当大的差异. 塔中油气区和满加尔拗陷区域表现为构造稳定区的特征, $^3\text{He}/^4\text{He} < 5.0 \times 10^{-8}$; $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值的差异还揭示了中生代构造表现较为强烈的塔北隆起和库车拗陷不同含油气区块存在有构造活动强度上的差异, 英买力、轮南、大宛、克拉2井气藏等 $^3\text{He}/^4\text{He} > 5.0 \times 10^{-8}$, 但在牙哈和迪那等气藏 $^3\text{He}/^4\text{He}$

3 He 稀有气体同位素特征及混源的讨论

自然界中 He 有两种稳定同位素： ^3He 和 ^4He ，由于两者在成因上存在着显著的差异，在地球不同圈层中 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比值差异明显，地幔流体中 $R > 8R_a$ ，地壳流体中的 He 组成与岩石中 U, Th 衰变有关，其 He 组成以 $R < 0.05R_a$ 为特征，因此可以用二元复合模式研究幔源氦和壳源氦在天然气中各自贡献的份额，并以此研究壳幔间关系的某些问题。

大气圈中的 He 同位素 $R_a = 1.4 \times 10^{-6}$ ，这种成因差异已成为判别 He 来源的有效标志。用大气中的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值($R_a = 1.4 \times 10^{-6}$)进行标准化，壳源氦同位素 $0.019 - 0.059R_a$ ，平均值为 $0.031R_a$ 。

稀有气体同位素分布与盆地构造性质的关系研究表明， $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值分布与天然气储层时代的相关性不是十分明显，而与盆地构造活动性密切相关。东部含油气区 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值分布在 $10^{-6} - 10^{-7}$ 范围，主要分布为 10^{-6} 量级，西部含油气区分布在 $10^{-8} - 10^{-7}$ 范围，除部分构造相对活动带外，主要区域以 10^{-8} 量级为主，中部地区分布在小于 5×10^{-8} 范围内，可见 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值的分布与不同区域盆地的构造活动性有很好的相关性；另外在 $^3\text{He}/^4\text{He} > 5.0 \times 10^{-6} - n \times 10^{-7}$ 范围内，数据分布均为采自塔里木盆地的样品(图3)

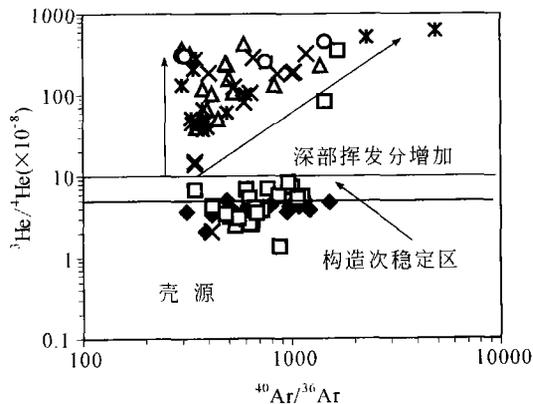


图3 $^3\text{He}/^4\text{He}-^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 关系图

◆鄂尔多斯；△辽河；□塔里木；×大庆；○苏北；*胜利

对于天然气藏来说，大气 He 对天然气中 He 同位素组成的影响极小，可以忽略不计，因此可以利用 R 值通过二元混合模式可以估算天然气中地幔

(R_m)和地壳(R_c)氦的贡献大小。

幔源 ^3He 份额计算方法为：

$$\text{He}_{\text{地幔}}(\%) = 100 \times (R - R_c) / (R_m - R_c),$$

$$R_m = 8R_a, R_c = 0.01R_a - 0.05R_a^{[14]}.$$

式中 R 为天然气氦同位素实测值，计算结果显示，东部构造运动相对活动区各含油气盆地天然气中幔源 He 的平均占有率都大于 15.7%，在松辽盆地天然气中个别最高可达 64%，而构造活动稳定的鄂尔多斯盆地和四川盆地天然气中几乎没有幔源 He 的加入，次稳定活动的塔里木盆地这种表示方法也说明天然气中幔源 He 被壳源放射性成因 He 的稀释程度(表 2)。

$^3\text{He}/^4\text{He}$ 主要为判识天然气中氦是来自于壳源还是有幔源氦加入的直接指标，也就是说，是判识天然气藏中是否有岩石圈深部挥发分加入的判识指标，其判识指标的主要依据为气藏中稀有气体 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值是否大于 10^{-8} ，或 R/R_a 大于 1，从图 3 中不难看出，塔里木盆地大部分稳定区域和鄂尔多斯盆地两大区以及四川威远气区天然气的 R/R_a 基本都小于 $0.05R_a$ ，具有明显壳源 He 的组成特征，与我国东部含油气盆地如松辽、辽河、苏北等盆地天然气 He 同位素组成形成明显的对比。

4 结论

鄂尔多斯和四川盆地天然气 He 同位素组成为典型的壳源来源， $^3\text{He}/^4\text{He} < 5.0 \times 10^{-8}$ ， $R/R_a = 0.01 - 0.04$ ，属构造稳定区的特征。塔里木盆地天然气 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 分布相对较分散，塔中油气区和满加尔拗陷区域主要表现为构造稳定区的特征， $^3\text{He}/^4\text{He} < 5.0 \times 10^{-8}$ ；库车拗陷东部牙哈和迪那油气区 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 均小于 3.81×10^{-8} ，库车拗陷西部 $^3\text{He}/^4\text{He} > 5.0 \times 10^{-8}$ ，构造活动性发育强度东部和西部存在较大差异；塔北隆起区和中新生代以前陆盆地为主要表现形式的塔西南拗陷以及巴楚隆起发育的和田河气区 $^3\text{He}/^4\text{He} > 5.0 \times 10^{-8}$ ，表现出构造次稳定区天然气氦同位素的特征；构造活动相对强烈区阿克 1 井天然气 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 高达 8.33×10^{-7} 。研究表明，用 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值可以精细划分区域构造的相对活动性。

参 考 文 献

- 1 沈平,徐永昌,刘文汇,等. 天然气研究中的稀有气体地球化学应用模式. 沉积学报, 1996, 13(2): 48—59
- 2 徐胜,徐永昌,沈平等. 中国中西部盆地若干天然气藏中稀有气体同位素组成. 科学通报, 1996, 41(21): 1115—1118
- 3 徐永昌. 中国含油气盆地天然气中氦同位素分布. 科学通报, 1994, 39(16): 1506—1508
- 4 徐永昌,沈平,刘文汇,等. 天然气中稀有气体地球化学. 北京: 科学出版社, 1998, 146—152
- 5 Xu Y C, Liu W H, Shen P, et al. Geochemistry of Noble Gases in Natural Gases. Beijing: Scienc Press China, 1996, 64—82
- 6 陶明信,徐永昌,沈平等. 中国东部幔源气藏聚集带的大地构造与地球化学特征及成藏中稀有气体同位素组成. 中国科学, 1996, 26(6): 531—536
- 7 徐永昌. 天然气中氦同位素分布及构造环境. 地学前缘, 1997, 4(3—4): 185—189
- 8 马宝林,彭作林,史基安,等. 天然气形成的基础地质条件. 北京: 科学出版社, 2000, 9—19
- 9 贝丰,吴征,宋振亚,等. 鄂尔多斯盆地古生界含油气岩系有机-岩石学研究及天然气生成条件与评价. 成都: 成都科技大学出版社, 1995, 1—3
- 10 郑建京,彭作林. 中国主要含油气盆地运动学过程与油气. 沉积学报, 1995, 13(2): 160—168
- 11 彭作林,郑建京. 中国主要沉积盆地分类. 沉积学报, 1995, 13(2): 150—159
- 12 杜建国,徐永昌,孙明良. 中国大陆含油气盆地的氦同位素组成及大地热流密度. 地球物理学报, 1998, 41(4): 494—500
- 13 徐永昌,傅家谟,郑建京,等. 天然气成因及大中型气田形成的地学基础. 北京: 科学出版社, 2000, 70—94
- 14 Andrews J N. The isotopic composition of radiogenic helium and its use to study groundwater movement in confined aquifers. Chemical Geology, 1985, 49: 339—351
- 15 Mamyrin B A. Helium Isotope in Nature. Elsevier, Amsterdam, 1984

清华大学王训荣获 2005 年度国际化学学科最优秀博士论文奖

2005年4月25日,国际纯粹及应用化学联合会(International Union of Pure and Applied Chemistry, IUPAC)在其网站上公布了本年度IUPAC青年化学家奖(Prize for Young Chemists)获奖者名单.本年度获奖者4名.清华大学化学系无机化学专业王训博士榜上有名.

IUPAC青年化学家奖,旨在对上一年度全世界范围内最优秀的化学博士论文作者进行奖励,以鼓励这些正处于事业起步阶段的优秀青年化学家.参评范围为上一年度全世界65个化学会成员国获得化学博士学位的青年化学家,获奖者将获得1000美元奖励和参加下一届IUPAC国际年会的旅行费用资助,并将受邀为Pure and Applied Chemistry杂志撰写本领域综述,每两年颁奖一次,每年颁奖名额不超过4名.2005年IUPAC共收到来自各成员国共60名候选人材料,评审委员会主席由上届IUPAC主席Prof. Pieter S. Steyn担任,委员为来自化学各分支学科的科学家.

经中国化学会初选、IUPAC初选及最终评审等程序,王训博士最终获得2005年度国际纯粹及应用化学联合会青年化学家奖.王训博士2004年7月毕业于清华大学化学系,导师李亚栋教授.其博士论文题目“过渡金属氧化物一维纳米结构液相合成、表征及性能研究”.这是国家杰出青年科学基金与国家自然科学基金重点项目纳米专项资助的项目.

4名获奖者为: Dr. Zev Gartner (Harvard University, Cambridge, MA, USA), Dr. Jiaying Huang (University of California, Berkeley, USA), Dr. Hiromitsu Maeda (Kyoto University, Kyoto, Japan), Dr. Xun Wang (Tsinghua University, Beijing, China)

(供稿:陈荣)