

氦、氩同位素分析在 天然气成藏规律研究中的应用

—以川西盆地中部天然气 He、Ar 同位素组成分析为例

樊然学

(成都理工学院同位素地质教研室 成都 610059)

国内外学者已认识到 He、Ar 同位素是研究天然气的来源、运移、混合及其成藏机制的可靠地球化学示踪剂。本文以川西盆地中部孝泉、新场与合兴场气田的天然气的 He、Ar 同位素组成分析为例,探讨 He、Ar 同位素在天然气成藏规律方面的应用。

1 样品同位素质谱分析与组份特征

样品采自川西盆地中部孝泉、新场与合兴场气田,采样深度 650 m—4566 m,产气地层为上三叠统海陆交互相富含有机质的黑色砂泥岩层与侏罗系河流湖泊相红色岩系。其 He、Ar 元素与同位素组成借助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的 MAT-271 与 MM-5400 质谱计进行分析。He、Ar 的体积百分含量(后文简称含量)测量误差为 $\pm 0.5\%$,同位素比值($^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$, $^3\text{He}/^4\text{He}$)的测量误差优于 $\pm 1\%$ 。

孝泉、新场与合兴场气田的天然气主要由甲烷与重烃气体组成。样品中甲烷的含量高达 92% 至 99%,乙烷等重烃气体的含量为 0.5%-8.0%,气体湿度高于 5%,甲烷和乙烷的同位素比值 $\delta^{13}\text{C}(\text{CH}_4)$ 、 $\delta^{13}\text{C}(\text{C}_2\text{H}_6)$ 分别大于 -37‰ 与 -27‰,为典型的沉积有机质热解成因气。

氦、氩为天然气的痕量组份。样品中 ^4He 的含量分布在 77×10^{-6} 和 270×10^{-6} 之间; $^3\text{He}/^4\text{He}$ 同位素比值 R,以大气 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 同位素比值 R_a (1.40×10^{-6}) 的归一化值 R/R_a 值表示, R/R_a 为 0.014-0.050。 ^{40}Ar 的含量分布在 6×10^{-6} - 50×10^{-6} 范围内; $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 同位素比值为 372 到 739。

2 天然气中放射性成因 He、Ar 来源研究

2.1 放射性成因 He、Ar 含量测定

由样品的 R/R_a 比值分布在地壳平均放射性物质的 R/R_a 值 (0.01-0.10) 的范围内,以及样品的 $^4\text{He}/^{36}\text{Ar}$ 比值是大气 $^4\text{He}/^{36}\text{Ar}$ 比值 (0.166) 的 7873-6634 倍,清楚看出样品的 ^4He 全部是典型的地壳放射性成因气。另外,由它们的 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 同位素比值高于大气 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 同位素比值 (295.5),看出样品中 ^{40}Ar 是由大气 ^{40}Ar 与放射性成因 ^{40}Ar (即 $^{40}\text{Ar}^*$) 混合而成, $^{40}\text{Ar}^* = [(^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar})_{\text{样品}} - (^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar})_{\text{大气}}] \times ^{36}\text{Ar}$ 。计算表明,样品中 $^{40}\text{Ar}^*$ 占整个 ^{40}Ar 体积的 20%-60%。

2.2 放射性成因 He、Ar 形成与运移

将样品的放射性成因 He、Ar 同位素比值($^4\text{He}/^{40}\text{Ar}^*$) 同气藏埋藏深度作图,可清楚看出两者之间有着很好的函数关系,这表明浅层气与深层气的放射性成因 ^4He 、 $^{40}\text{Ar}^*$ 是

同一来源。另外,由样品的放射性成因 $^4\text{He}/^{40}\text{Ar}^*$ 比值同地壳平均组成的放射性成因He、Ar生产比值比较看出,随着气藏埋藏深度的逐渐增加, $^4\text{He}/^{40}\text{Ar}^*$ 比值从地壳平均生产比值的29倍逐渐降低到1.3倍,即逐渐接近地壳平均生产比值,这表明样品中的放射性成因 ^4He 、 $^{40}\text{Ar}^*$ 主要来自基底地壳岩石。本区基底地壳岩石的He、Ar生产比值没有直接测定,但根据张志兰提供的邻区龙门山断褶带同期(同位素年龄195 Ma–205 Ma)发育的老君庙花岗岩体的 $U=3.7\times 10^{-6}$ 、 $Th=15.7\times 10^{-6}$ 与 $K=3.35\%$ 资料,计算出基底岩石的放射性成因 $^4\text{He}/^{40}\text{Ar}^*$ 生产比值为6.8,而同最深样品(4566 m)的 $^4\text{He}^*/^{40}\text{Ar}^*$ 含量比值6.7十分接近,这证实样品的放射性成因 ^4He 、 $^{40}\text{Ar}^*$ 来自本区基底。样品的放射性成因同位素 $^4\text{He}/^{40}\text{Ar}^*$ 比值随深度减少而增加的现象,被认为是它们从基底向上运移过程中放射性成因 ^4He 优先于 $^{40}\text{Ar}^*$ 转移的缘故。

3 CH_4 运移与稀有气体示踪研究

样品(除CX129外)的 $\text{CH}_4/^{36}\text{Ar}$ 含量比值同 $^4\text{He}/^{40}\text{Ar}^*$ 放射性成因同位素比值存在着很好的函数关系。由于天然气中的 ^{36}Ar 被普遍认为是大气成因与来源于曾同大气平衡过的地下水,因此,样品中 ^{36}Ar 同有机质热解成因 CH_4 的比值随同放射性成因 ^4He 、 $^{40}\text{Ar}^*$ 比值一起变化的现象,表明这些不同来源的气体在进入气藏前是充分混合在一起的;并表明 CH_4 由沉积有机质母体形成及释出后,就同地壳放射性成因的稀有气体和地下水溶解的大气稀有气体一道由下而上垂直运移。

Isotopic Analysis of Helium, Argon and Their Application on Accumulation Mechanism of Natural Gases

--cases studies from the central area of western sichuan basin

Fan Ranxue

(Laboratory of Isotopic Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059)

Abstract

The purpose of the present paper is to show He, Ar isotopic application to studying the accumulation mechanism of natural gases in the central areas of (Xiaoquan, Xincheng and Hexinchang) Western Sichuan Basin. The gas reservoirs occur at depths ranging from 560m to 4566m, in which CH_4 dominates, occupying up to 92% to 99% by volum of the gas samples, and being believed to be thermogenetic in source. The samples all have $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ ratios greater than the atmospheric value(295.5). The calculated radiogenic ^{40}Ar content ranges in 20% to 60% by the total volum of each sample. And the $^3\text{He}/^5\text{He}$ ratios($R/R_a=0.01-0.1$), suggesting that all the He in these samples is entirely crust radiogenic. The radiogenic $^4\text{He}/^{40}\text{Ar}$ ratios are 1.3 times to 29 times greater than the crustal production ratio(4.92), being attributed to the preferential transport of ^4He relative to ^{40}Ar in fluxes from the basement into the upper strata. The observed correlation between the $\text{CH}_4/^{36}\text{Ar}$ and $^4\text{He}/^{40}\text{Ar}$ ratios clearly indicates that the thermogenetic CH_4 , and crust radiogenic ^4He and ^{40}Ar , as well as atmospheric ^{36}Ar are intimately associated. These characteristics require a common carrier intermediate to the sampled reservoirs, where these differentially originated gases are well mixed and stored together in prior to entrapment into gas reservoirs.