

世界首例沉积壳层幔源工业储集的发现^①

徐永昌

(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)

提要 七、八十年代地学研究的热点和前沿领域之一是关于地幔的研究, 氦是地幔挥发分的重要组成, 其同位素³He/⁴He的丰度比是判识含氦地质体来源于幔、壳和大气的重要指标。其相应的表征值为 1.1×10^{-8} , 10^{-6} 和 1.4×10^{-6} 。在研究我国东部含油气区的工业气井天然气组分和同位素组成时, 发现一批沿郯庐大断裂两侧分布的工业气井, 其氦浓度为0.05~0.1%, 达到了氦气资源所要求的品位。其³He/⁴He比值达 3.7×10^{-8} ~ 6.36×10^{-6} 。由于工业气井中大气氦的组分可忽略不计, 可用壳-幔二元混合模式计算氦气中幔源氦所占份额, 结果表明幔源氦达33.7~57.3%, 从而在我国领土上第一次发现了幔源氦在沉积壳层形成工业储集。为了解这一发现在国际上的意义位置, 请中科院兰州文献情报中心科技文献检索室进行了国际联机检索, 证明从1967年到1991年3月(从可能出现有关文献及1990年我所论文发表分别作了相应时间的前后延伸)国际上无有关报导, 证明这一发现在世界范围也是首次。此项发现对我们更深入认识地球、地幔形成演化, 对于进一步了解幔源挥发份的脱气、运移乃至成藏有重大理论意义, 从而对指导有关矿产的勘查也具有实践意义。

关键词 幔源 氦同位素 郯庐大断裂

作者简介 徐永昌 男 60岁 研究员 博士生导师

1 研究成果内容

(1)建立了天然气中³He/⁴He比值的测量方法(徐永昌, 1990), 填补了国内空白, 取得了我国含油区天然气中第一批³He/⁴He比值的的数据。

在VG-5400质谱仪上, 以空气样为标准, 按A、ABA或AB、ABA模式设计, 以重复性表示样品的测量误差, 17天内V₀(He的电压测量值)误差0.48%, ³He/⁴He 1.32%。同一天测量³He/⁴He测量误差<0.6%, 满足了研究所要求的测量精度。

(2)发现一批工业气井中He的组成有相当份额的幔源氦, 更重要的是发现了幔源氦在沉积壳层的工业储集(徐永昌等, 1990)。有关数据参见表1。

从表1数据可知辽河盆地的界3井、苏北黄桥的黄浅2、黄浅14井、溱潼苏203井、三水盆地的水深3、水深12、水深11井等其工业气氦的浓度均达到工业品位, 而其中幔源氦的份额达到30~60%。

(3)我所委托中科院兰州文献情报中心的科技文献检索室进行了国际联机检索, 证明此项发现在世界上是第一次。

为进行对比, 将检出有关文献中关系最密切的两篇论著(Jenden et al., 1986; Sano Yuji,

① 国家自然科学基金资助项目。1992年获中国科学院自然科学二等奖。

1988)中的数据表列后(表 2,表 3)。

表 1 中国东部某些工业气井中 He 的组分及 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比值

Table 1 The helium content and $^3\text{He}/^4\text{He}$ of industrial gas well in eastern China

地区	井位	层位	He (%)	$^3\text{He}/^4\text{He}$	R/Ra	
辽 河	界 3	J	0.099	5.46×10^{-6}	3.90	
苏 北	黄 桥	黄浅 2	Ny	1.20	4.89×10^{-6}	3.20
		黄 14	Ny	1.34	3.71×10^{-6}	2.65
		黄验 1	P _{1a}		4.9×10^{-6}	3.49
		苏太 174	D _{3w}		5.54×10^{-6}	3.96
北	溱 潼	苏 190	Es	0.096	3.56×10^{-6}	2.54
		苏 203	Ed	0.089	3.84×10^{-6}	2.74
广 东 三 水		水深 3	E _{1-2b}	0.26	5.7×10^{-6}	4.09
		水深 9	E _{1-2b}		6.0×10^{-6}	4.30
		水深 44	E _{1-2b}		6.3×10^{-6}	4.54

表 2 Sacramento 盆地天然气氦同位素数据表

Table 2 The helium isotopic constitution of the gases in Sacramento Basin

样号	油气田	井号	产层	时代	深度 (m)	CH ₄ (%)	C ₂ (%)	N ₂ (%)	He (ppm)	X	R/Ra	CH ₄ / ³ He ($\times 10^{-8}$)
1027	Moon Beed	Coluse 2-3	Forbes	白垩纪	1580	81.7	0.67	17.5	58.0	56	2.76	3.65
1124	Moon Beed	Coluse 2-3	Forbes	白垩纪	1580	81.5	0.60	17.9	67.7	160	2.74	3.14
1121	Vild Goose	Vild Goose 4	Vild Goose	白垩纪	770	78.2	0.02	21.8	52.6	110	1.98	5.39
1004	West Butte	Mapco-Kylling 1	Forbes	白垩纪	1550	92.6	0.36	7.02	44.5	300	1.73	8.59
991	Union Island	Sonol Sec 5	Winters	白垩纪	2970	87.8	0.38	11.1	33.0	300	1.26	15.1
1126	Freeport	Poppy Ridge 4	Forbes	白垩纪	2210	61.8	0.07	38.1	26.0	86	1.16	14.6
1122	Sutter Buttes	Buttes Com. 1-93	Forbes	白垩纪	1860	97.6	0.30	2.02	30.7	95	1.10	20.6
1079	Sildcat	Nies 1	Domengine	始新世	900	51.4	0.01	48.5	97.0	700	1.01	3.75
1129	Robbins	Magoon 3	Forbes	白垩纪	2040	12.2	0.06	87.7	54.0	1200	0.99	1.63
1127	Nicolaus	Osterli 1	Gulinda	白垩纪	1740	36.5	0.05	63.4	59.4	600	0.99	4.43
1123	Sutter Buttes	Buttes Com. 1-42	Forbes	白垩纪	1120	98.8	0.20	0.93	10.6	27	0.82	81.2
1125	Poppy Ridges	Poppy Rodgs 2	Forbes	白垩纪	2200	80.2	0.15	19.4	27.0	280	0.83	25.6
1132	Bounde Creek	Bounde Creek 1-7	Forbes	白垩纪	1190	97.4	0.25	2.29	15.1	1000	0.73	63.1
1043	Durhan	Newby-Durham 1	Capay	始新世	650	70.7	0.05	29.2	117	40	0.62	6.96
1025	Corning	Saldubehere 2	3rd Tehama	上新世	430	75.9	0.01	24.1	91.3	375	0.60	9.90
1031	Florin	Florin 1 & 2	Winters	白垩纪	1160	89.7	0.03	10.3	38.3	33	0.42	39.8
1030	Harte	Dawang 1	Midland-Mat.	白垩纪	1390	94.8	0.49	4.64	52.1	370	0.26	50.0
1119	Rio Vista	Serpa 4	Starkey	白垩纪	2720	93.9	5.04	0.62	16.6	55	0.14	289
1107	Grossroads	Cache-Basin 1	Starkey	白垩纪	1230	92.3	0.10	7.60	106	550	0.14	44.4
1110	Rio Vista	RVGU 11	Midland	白垩纪	1380	93.9	4.13	1.32	31.9	100	0.11	191

$$R = (^3\text{He}/^4\text{He})_{\text{样}} \quad R_a = (^3\text{He}/^4\text{He})_{\text{地}}; X = (\text{He}/\text{Ne})_{\text{样}} / (\text{He}/\text{Ne})_{\text{地}}$$

引自 Poreda R. J. 1986. Mantle helium in Sacramento Basin Natrual Gas Wells

从表 2 数据可知,在 Sacramto 盆地天然气中的氦有相当份额来自地幔脱气。按二元混合

模式计算,幔源份额可达1%—34%,但是凡幔源氮份额较高的气井其氮的浓度均较低,如样品号1027、1124,其R/Ra(表示样品 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值和大气 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值之比)值分别为2.76和2.74,即幔源氮的份额可达30%以上,与其相应的氮浓度仅58和67ppm,即比工业储集所要求的浓度低10—20倍。样品号1043、1107含He量较高,达万分之一(比工业储集仍低5~10倍),而其R/Ra仅为0.62和0.14(即幔源份额仅为7.88~1.78%)。表3的数据表明这些天然气中的氮有很高幔源氮的份额,特别是12及14号样品其 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比值可达 10.9×10^{-6} 和 9.5×10^{-6} ,即幔源氮的成分可达99.0~86.3%,但其氮的浓度仅分别为25和28ppm,含氮量最高的13号样,也仅为58ppm,均远低于工业氮储集所要求的浓度。

表3 日本火山岩中天然气的化学组成和同位素组成

Table 3 The chemical components and isotopic constitutions of the gases in Japanese volcanic rocks

	CH ₄ (%)	C ₂ H ₆ (%)	C ₃ H ₈ (%)	n-C ₄ H ₁₀ (%)	i-C ₄ H ₁₀ (%)	CO ₂ (%)	N ₂ (%)	He (ppm)	$\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$ (‰ PDB)	$^3\text{He}/^4\text{He}$ (10^{-5})	$^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$	CH ₄ / ^3He (10^3)
1. 紫云寺(浅)	98.7	0.13	0.08	0.11	0.07	0.80	0.07	1	-54.8	<1.4	54	>700
2. 由利原(浅)	90.1	3.51	0.56	0.18	0.30	5.00	0.31	5	-47.5	<4.1	153	>44
3. 西大泻	78.1	9.63	6.37	1.84	1.01	2.84	0.24	4	-51.1	7.2	21	27
4. 新胎内	87.3	5.66	2.40	0.82	0.49	2.74	0.28	2	-42.3			
5. 松崎	88.6	6.57	2.73	0.79	0.56	0.51	0.27	2	-41.7	4.3	96	100
6. 云出	90.2	6.00	2.03	0.53	0.40	ND	0.44	2	-35.0	7.1	85	64
7. 申川	87.6	6.58	3.79	1.06	0.43	0.10	0.46	4	-52.8	6.6	240	33
8. 东新泻	87.8	6.09	2.41	1.02	0.61	1.79	0.11	2	-35.1	5.9	63	7.5
9. 尼崎	51.6	2.34	0.63	0.12	0.13	2.01	3.18	38	-32.0	9.1	38	2.7
10. 颈城	91.5	4.23	1.09	0.32	0.32	0.21	2.34	6	-36.2			
11. 紫云寺(深)	87.0	7.44	2.82	0.85	0.54	0.55	0.38	3	-38.9	6.7	201	43
12. 见附	97.5	6.34	2.62	0.85	0.55	ND	2.19	25	-34.7	10.9	810	3.2
13. 东柏崎	87.8	5.51	2.44	0.78	0.61	ND	2.83	58	-33.3	9.0	1960	1.7
14. 南长冈	84.5	4.78	1.68	0.44	0.41	5.76	2.39	28	-33.2	9.5	1140	3.2
15. 由利原(深)	81.6	10.7	5.36	1.20	0.71	ND	0.49	9	-36.4	9.3	72	9.8

引自Ssusu. SAKATA et al. 1986, Geochemical Study on Genesis of Natural gases Accumulated in Deep Volcaniclastic Rocks.

2 形成条件

所研究的幔源氮在沉积壳层形成工业储集的气井,均分布于中国东部的郯庐断裂带及其附近(图1),笔者认为正是这条超壳断层构成了幔源氮向沉积壳层运移的通道,在适宜天然气储集的圈闭中保存下来,形成了工业性的储集。证明郯庐断裂带切入地幔的论据是:连云港—临沂—泗水人工地震测深资料表明存在地壳深断裂,而且莫霍面附近破碎现象较显著,表明郯庐断裂带在部分地段切入地幔,故该断裂带是一条深达莫霍面的活动性断裂带。断裂带及其邻区地温状态是:黑龙江鸡西邻区双鸭尖山子矿地温梯度为 $3.57^\circ\text{C}/100\text{m}$;辽源含煤盆地为 $3.42^\circ\text{C}/100\text{m}$;抚顺含煤盆地为 $4.57^\circ\text{C}/100\text{m}$;山东黄县含煤断陷盆地为 $3.66^\circ\text{C}/100\text{m}$;徐州东沭阳第三系断陷盆地为 $4.28^\circ\text{C}/100\text{m}$;庐江河铁矿(断裂带东20km) $4^\circ\text{C}/100\text{m}$ 。整个断裂带上有众多的温泉。所有这一切都表明郯庐断裂带是一条高温带,这是由于地幔软流圈上拱、局

部熔融物质(岩浆)沿深大断裂带上涌,将深部热源直接带至地表浅部或携出地表的结果。

沿郯庐断裂带火山岩很发育,如鲁、冀、辽一带新生代火山岩发育,岩性为碱性橄辉玄武岩、碧玄岩和霞石岩,并含有幔源二辉橄辉岩包体,表明为来自深部的物质,反映出郯庐断裂为深达地幔的深大断裂。作为幔源氦的工业储集,还要强调的是郯庐断裂至今的活动性,因为气藏的形成是一种动态平衡,气藏中的气体不断以扩散运移的方式穿透盖层散失,只有当气源的供给量大于散失量,才会形成气体的工业储集。氦是气体中扩散运移能力最强的,因而氦所的成藏就要求更充分的动态补给。因此,幔源氦在地表沉积层的工业储集不仅需要由从地表沉积层通达地幔的断裂体系,而且这一断裂体系应当是至今仍然连通地幔的活动性断裂体系,只有这样才能保证扩散性极强的氦达到平衡,形成工业气藏。此外对盖层的要求也比一般气藏的要求更高。

3 意义

(1)自然科学研究的主要目的是认识自然,进而根据自然规律改造自然,造福人类。一项自然现象的世界性首次发现,在自然科学研究中本身就具有重大的意义。

(2)氦是一种重要的自然资源,工业性的氦资源都来自天然气藏中的氦,但它们主要源于地壳放射性元素铀、钍的衰变,因此,氦的成藏主要与地质体铀、钍的含量及地质体所代具成生关系(作为氦的成藏当然包括氦气脱出、运移和聚集),沉积壳层幔源氦工业储集的发现证明自然界存在与现有氦气藏成因完全不同的、新的成因类型。成因的差异导致了寻找此类资源时地质体背景的差异。此项发现表明,活动性超壳断裂层影响的范围是寻找此类氦资源的有利场所。

(3)此项发现证明了幔源挥发份在一定条件下可以经运移形成有工业意义的储集,并为人们提供了研究的地质实体和试验场所。

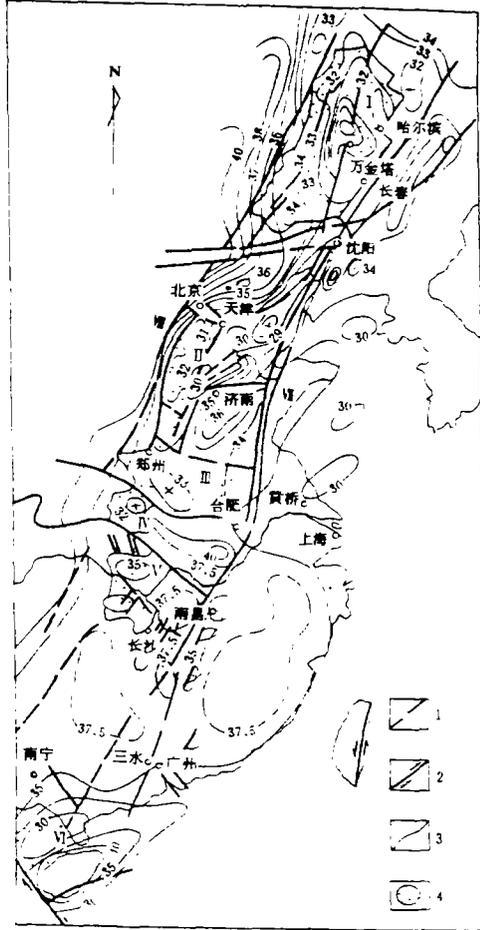


图1 华夏裂谷系构造简图(据刘和甫等,1985)

1. 断层; 2. 平移断层; 3. 地壳厚度等值线; 4. 盆地轮廓

I. 松辽盆地; II. 渤海湾盆地; III. 南华北盆地; IV. 南襄盆地; V. 江汉盆地; VI. 北部湾盆地; VII. 郯庐断裂带; VIII. 紫荆关断裂带

Fig. 1 A sketch map of the Cathaysian rift system (according to Liu He-pu et al., 1985)

1. Fractures; 2. transcurrent faults; 3. isopachs of crust; 4. boundaries of basins I. Songliao Basin; II. Bohaiwan Basin; III. Southern North China Basin; IV. Nanxiang Basin; V. Jiangnan Basin; VI. Beibuwan Basin; VII. Tancheng-Lujiang Fracture Zone; VIII. Zijingguan Fracture Zone

对郯庐断裂带幔源氦工业储集条件的深入认

识,不仅为进一步在世界范围寻找此种成因类型的氦资源提供重的有指导性的科学信息,也会为研究幔源其它挥发份的脱气、运移、富集及至成藏提供重要的信息,幔源甲烷从八十年代初成为人类关注的热点以来,尽管在地球上已发现不少幔源成因甲烷的客观存在,但至今未发现在浓度上构成工业储集的幔源甲烷,幔源氦工业储集的深入研究将可能为上述研究提供重要的借鉴信息。

收稿日期:1993年3月15日

参 考 文 献

- 徐永昌,1990,天然气中氦同位素质谱分析及其在天然气研究的应用,石油实验地质,3期,316—325页。
 徐永昌等,1990,幔源氦的工业储集和鄯庐大断裂带,科学通报,35卷12期,932—935页。
 Poreda R. J., Jenden P. D., Kaplan, E. R., Craig, H., 1986, Mantle helium in Sacramento basin natural gas wells. *Geochim Cosmochim. Acta*, V. 65, N. 5, p. 2847—53 (Eng).
 Sano Yuji; Wakita, Hiroshi, 1988, Precise measurement of helium isotopes in terrestrial gases. *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, V. 61, N. 4, p. 1153—7 (Eng).

The World's First Discover of Industrial Helium Reservoir in Sedimentary Crust with Mantle Origin

Xu Yongchang

(State Key Laboratory of Gas—geochemistry, Lanzhou, 730000)

Abstract

There are three kinds of helium in the earth, i. e. atmospheric, crust derived and mantle derived ones, which's $He/{}^4He$ ratio are 1.4×10^{-6} , 2×10^{-10} , 1.1×10^{-5} respectively. Mainly resourced from natural gas reservoirs, helium concentration is mainly related to the α decay of uranium and thorium, thus, its enrichment generally is accompanying by the decrease of $He/{}^4He$ ratio, ordinarily in the grade of 10^{-8} .

Based on the recent years of the both side of Tancheng—Lushan Fault in eastern China, the author found the helium abundance reached or higher than 0.1% in some industrial gas droll holes, i. e., up to the standard of industrial helium reservoir, but the interesting point is that the $He/{}^4He$ ratio measured is as high as $3.7 \sim 6.36 \times 10^{-6}$. As atmospheric He can be neglected in industrial wells, and the calculation shows that the mantle derived He can up to 33.7~57.3% of these He gases, then the industrial He reservoirs in the sedimentary crust that derived from the mantle were first found internationally. It is a discover of a new helium source, moreover, it not only provided information of the analysis, migration, reservoir of mantle volatile components, but also a geological body to study on the hot point of geoscience, i. e. the relationship between the crust and the mantle. And the discovery of industrial helium reservoir is also significant of the research of non—biogenic methane and so on.