

中国富氦天然气资源研究现状与进展

张雪, 刘建朝, 李荣西, 翁凯

ZHANG Xue, LIU Jianchao, LI Rongxi, WENG Kai

长安大学地球科学与资源学院, 陕西 西安 710054

School of Geosciences and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China

摘要:通过对中国富氦天然气资源现有研究成果进行系统整理、分析,总结了我国富氦天然气研究的发展现状及进展,提出了未来我国氦气资源的研究方向。我国对氦气资源的研究历程可以划分为4个阶段:认知阶段、利用阶段、基础研究阶段及提取技术研究阶段。从分布规律看,我国富氦天然气分布具有小型盆地满盆含气、大中型盆地局部含气的特点,赋存层位以奥陶系、二叠系、古近系和新近系为主。组分特征表明,富氦天然气中氦气的含量普遍小于1%,仅渭河盆地部分样品氦气含量较高,最大值可达4.942%。氦同位素特征表明,我国氦气以壳源为主,壳幔混合为辅。分析认为,影响壳源氦分布的主控因素为氦气源岩,而影响幔源氦分布的主控因素为深大断裂。建议今后我国应以壳源氦研究为重点,针对不同区域不同成因的氦气,采用不同的研究方法。

关键词:氦气;分布规律;成因;影响因素;研究方向

中图分类号:P618.13 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2018)02/03-0476-11

Zhang X, Liu J C, Li R X, Weng K. President situation and progress in the study of helium gas resources in China. *Geological Bulletin of China*, 2018, 37(2/3):476-486

Abstract: Based on collecting and analyzing the research results of China's helium resources, the authors have summarized the development and study of China's helium resources, and pointed out the research directions in the future. The helium's research history can be divided into four stages: cognitive stage, applied stage, basic research stage and extraction technique research stage. The distribution of helium gas in China has the characteristics of "small basins with full gas, large and medium basins with partial gas". The strata hosting helium gas are Ordovician, Permian, Paleocene and Neocene strata. Composition characteristics show that the content of helium in nature gas is generally less than 1%, and only partial samples in Weihe Basin have high content that can reach 4.942%. Helium isotope analysis shows that the helium is mainly derived from crustal source with the addition of crust-mantle mixing source. The authors have reached the conclusion that the crustal helium gas and mantle helium gas are respectively affected by helium gas source rocks and deep fractures. It is suggested that more importance should be attached to crustal helium gas and that different methods should be adopted according to the different geneses.

Key words: helium; distribution; genesis; influence factors; research direction

氦是一种稀有气体,具有化学性质稳定、沸点极低等特性,因此被广泛应用于航天工业、核工业、科研、石化、制冷、医疗、半导体、管道检漏、超导实验、金属制造、深海潜水、高精度焊接、光电子产品生产等领域,是国家安全和高技术产业发展的基本

物资,属于战略性资源^[1]。由于氦的广泛用途,全球各国对氦的需求量都很大,尤其是以中国为首的亚洲地区,是氦需求量增长最快的地区,2005—2010年,氦的总销售量由 $169 \times 10^4 \text{m}^3$ 增长到 $320 \times 10^4 \text{m}^3$ 。随着中国科技水平及经济的飞速发展,近年来对氦

收稿日期:2017-02-10;修订日期:2017-10-10

资助项目:中国地质调查局项目《渭河盆地地热井氦等伴生气调查与综合利用评价》(编号:12120113040200)和中央高校基本科研基金项目《渭河盆地多成因天然气气体来源研究》(编号:310827161021)

作者简介:张雪(1986-),女,博士,讲师,从事渭河盆地富氦天然气研究。E-mail:36549092@qq.com

的需求量也越来越大,但由于中国氦气资源匮乏,氦气提纯成本较高,一直以来只能依赖进口氦气来满足国内需求。美国是世界上氦气资源最丰富的国家,几乎世界上所有的氦气都是从美国的天然气井中提取的,虽然已经大规模开采60多年,但氦气储量仍占世界总储量的40%以上。根据美国地质调查局2009年的调查报告^[2],美国、卡塔尔、阿尔及利亚和俄罗斯拥有世界89%的氦资源,其中美国 $200 \times 10^8 \text{m}^3$,卡塔尔 $100 \times 10^8 \text{m}^3$,阿尔及利亚 $82 \times 10^8 \text{m}^3$,俄罗斯 $68 \times 10^8 \text{m}^3$,加拿大 $20 \times 10^8 \text{m}^3$,中国 $11 \times 10^8 \text{m}^3$,波兰 $3 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

中国正处于综合国力飞速发展的时期,无论是军工、科研,或是日常生活对氦气的需求量都在与日俱增,一旦没有氦气,上述工作都将无法进行,会严重影响中国经济的发展,甚至会影响国家的安全。但中国氦气资源相对贫乏,主要依靠国外进口来满足国内需要。因此,对中国现已发现的氦气藏进行全面、系统的研究,掌握中国氦气的来源、分布规律及富集特征,指出下一步的研究方向及研究重点,对未来中国氦气资源的勘探、开发具有重要的理论指导意义。

1 中国富氦天然气研究现状

氦气资源在中国的分布较广泛,在中、西、东部地区的多个含油气盆地都已发现具有一定工业价值的氦气。中国虽然拥有一定量的氦气资源,但相对而言,氦的生产和消费水平远不能满足当前科学技术和经济建设发展的需要,因此要加强对中国氦气资源的系统研究。

现有资料显示,早在1986年中国就有以氦气为主题的文章发表。唐文俊^[3]通过分析国外对氦气的需求及供应情况,提出了关于中国氦气资源勘探及开发的建议;张子枢^[4]简述了全球氦气资源的分布及开发情况,倡导中国在进行氦气勘探开发的同时要注意对氦气资源的保护;陆慕郭^[4]、邢国海^[5]、龙增兵等^[6]介绍了从天然气中提取氦气的主要方法;赵力军等^[7]分析了国外的氦气市场情况,总结了氦气在各个领域的广泛用途,指出了氦气对国防及高尖端领域的重要意义。由此可见,早在20世纪80年代,中国学者已经意识到氦气资源的重要性,并开始通过分析其他各国的氦气资源情况,为中国氦气资源的勘探、开发做准备。

1989年,徐永昌等^[8]研究四川威远气田气藏特征时,强调了该气田高含量氦气的存在;同年,封万芳^[9]对威远气田氦气提取的经济效益进行了分析;陈文正^[10]、戴金星^[11]对威远气田包括氦气在内的气体源岩进行了深入研究。中国中部的四川盆地威远气田是中国第一个也是唯一一个进行过氦气工业开采利用的富氦气藏,但由于开发时间早、开采方式不当等原因,于2004年停产。经过多年的治理及技术攻关,该气田于2012年恢复生产,并运用了我国首套拥有自主知识产权、自主设计、安装建设的天然气提氦装置,足以说明我国对氦气资源的重视。

1990年,李淑仪^[12]翻译了《氦气测量在油气勘查中的应用前景》一文;同一时期,在中国西部的塔里木盆地,李鹤庆^[13]、邓树立^[14]论述了利用氦气测量指导油气勘探的方法。此时进行的氦气测量只是被作为寻找油气的技术手段,人们还没有完全意识到氦气自身的资源价值。直到1997年,塔里木盆地的氦气才作为一种天然气资源被学者们所认知,常兴浩等^[15]、王招明等^[16]、余琪祥等^[17]对该地区富氦气藏的成藏过程进行了研究。

从1990年起,徐永昌等^[18]及杜建国^[19]以中国东部地区郯庐大断裂带为构造背景,对一系列富氦气藏进行了研究。松辽盆地南部万金塔构造^[19]、辽河拗陷东部^[19]、广东三水盆地^[19]、苏北黄桥地区^[19-20]、苏北盆地东台拗陷、溱潼凹陷、金湖凹陷^[21]、松辽盆地北部^[22-23]、济阳拗陷花沟地区^[24]、海拉尔盆地^[25]、黄骅拗陷^[26]、江苏溪桥地区^[27],以上盆地或地区都发现了良好的氦气显示,说明我国东部地区氦气资源较丰富,且研究程度较高。

2004年,薛华锋等^[28]指出,渭河盆地西安地区地热流体中富含高浓度的氦气;卢进才等^[29]、柴先平^[30]及刘建朝等^[31]对渭河盆地富氦天然气的成因、来源及成藏条件进行了初步研究;李玉宏等^[32]结合氦气成因,对氦气的分布规律进行了研究;张福礼等^[33]对渭河盆地氦气进行了初步的资源评价。2012年7月,为探索渭河盆地西安凹陷新生界的含氦储层聚集性能和含气性,确定富氦层位,在西安周至县开钻了中国第一口氦气预探井——渭新1井^[34],并顺利完成两层测试任务。2个层段抽汲时的氦气含量在1%~5%之间,超出预计的3%,再次验证了渭河盆地氦气资源丰富而稳定的事实。从现有文献资

料分析,虽然前人对渭河盆地富氦天然气的研究程度不高但较全面,从成因、成藏到分布规律,甚至是资源评价都有涉及,证明渭河盆地氦气资源较丰富,具有一定的研究价值。

总结中国中部地区四川盆地、渭河盆地,西部地区塔里木盆地及东部地区各盆地氦气的研究历程,大致可以划分为4个阶段。第一阶段为认知阶段,以总结国外氦气资源特点为主,兼顾探讨中国氦气资源潜力;第二阶段为利用阶段,在此期间把氦气作为一种寻找石油、铀矿等其他矿产的工作手段;第三阶段为基础研究阶段,开始把氦气作为一种独立的天然气资源,从其成因、成藏、分布规律等方面进行研究;第四阶段为提取技术研究阶段,在

寻找到富氦天然气藏后,进行天然气提氦技术的研究。

2 中国富氦天然气研究进展

2.1 中国富氦天然气分布特征

中国沉积盆地数量较多且以中小型盆地为主,据中国国土资源部2010年统计,中国共有陆相沉积盆地424个,海相沉积盆地12个,海陆相叠合盆地69个^[35]。氦气资源在中国的分布范围较广泛,在东、西、中部的多个盆地均发现了具有工业价值的富氦油气藏,其中包括东部地区的海拉尔盆地、松辽盆地、渤海湾盆地、苏北盆地和三水盆地,西部地区的塔里木盆地,中部地区的四川盆地及渭河盆地(图1)^[37-38]。



图1 中国富氦盆地分布

Fig. 1 Distribution of helium-rich basins in China

除上述8个盆地外,中国其他含油气盆地也普遍具有氦气显示,例如鄂尔多斯盆地、百色盆地、准噶尔盆地、吐鲁番盆地、莺歌海盆地等^[9],但由于氦气含量较少,或受到其他因素的影响,针对氦气资源研究的资料较少。从现有资料分析,中国氦气资源分布具有小型盆地满盆含气、大中型盆地局部含气的特点。例如,在海拉尔盆地、渭河盆地、三水盆地等小型盆地,氦气在全盆地普遍存在;在大中型盆地中,氦气则以构造单元或地区为单位局部富集,如松辽盆地北部及南部万金塔构造,渤海湾盆地辽河拗陷东部、济阳拗陷花沟地区、黄骅拗陷、东濮拗陷,苏北盆地东台拗陷黄桥地区、溱潼拗陷、金湖拗陷、江苏溪桥地区,塔里木盆地北部沙雅隆起、麦盖提斜坡西北、和田河气田,以及四川盆地威远气田。

纵向上,中国富氦天然气的赋存层位跨度大,从元古宙到新生代的地质层均有氦气赋存。现有资料表明,最老的赋存层位为震旦系,出现在中部地

区四川盆地的威远气田;最新层位为新近系,出现在中部地区的渭河盆地。其中,古生界的奥陶系、二叠系和新生界的古近系、新近系为富氦天然气的主要赋存层位(图2)。

从图2可以看出,富氦天然气的纵向分布规律明显受其平面分布位置及构造单元的影响。处于中国东北部的海拉尔盆地及松辽盆地,氦气赋存层位以中生界侏罗系、白垩系为主,明显有别于其他盆地。由此向南,仅渤海湾盆地辽河拗陷富氦天然气的赋存层位仍为侏罗系,渤海湾盆地其他拗陷中氦气的主要赋存层位已转变为新生界古近系,其中的黄骅拗陷除以古近系为主要氦气赋存层位外,新近系、石炭系、二叠系也有氦气产出。苏北盆地氦气赋存层位主要为新生界,仅东台拗陷黄桥地区的上古生界泥盆系和二叠系也为氦气赋存层位。塔里木盆地氦气赋存层位为古生界。三水盆地及渭河盆地氦气赋存层位为新生界。四川盆地威远气田氦气赋存层位较老,集中在震旦系及寒武系。

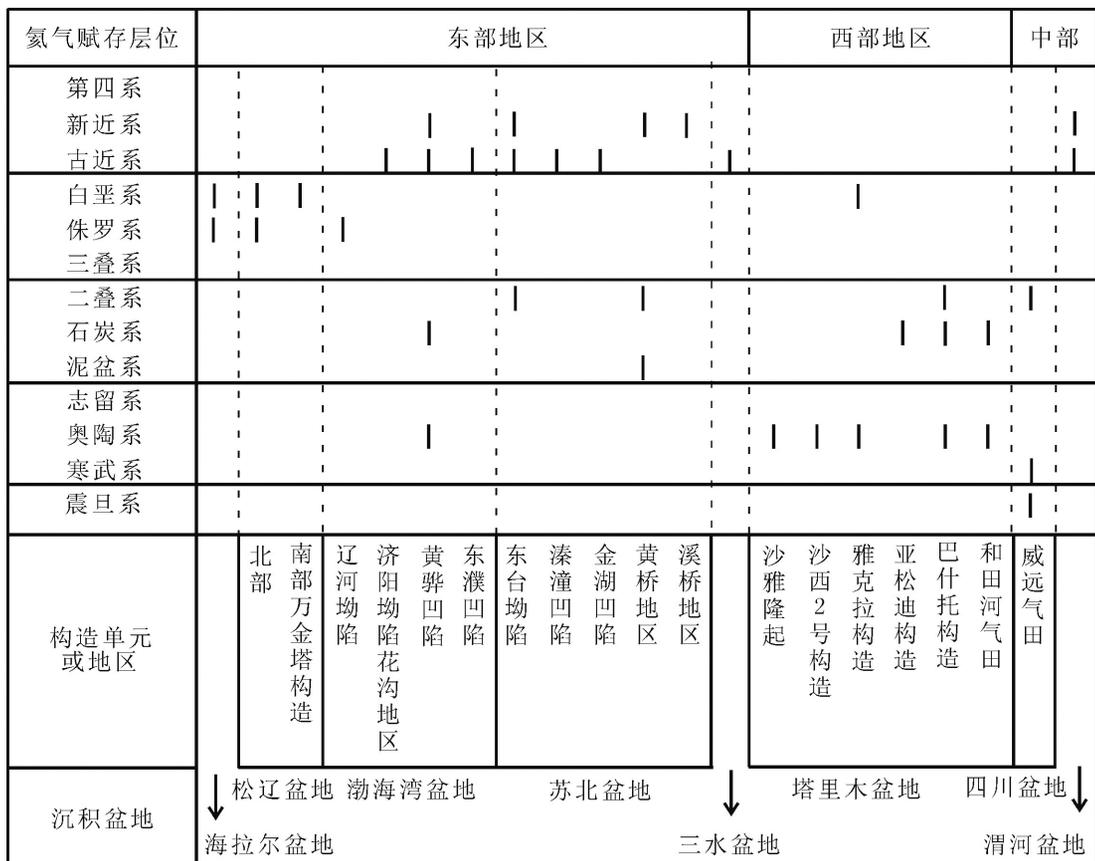


图 2 中国富氦天然气纵向赋存层位示意图

Fig. 2 Schematic diagram of helium-rich nature gas reservoirs belonging to different basins in China

2.2 富氦天然气组分及成因特征

前人研究结果表明^[9-12],由于氦气本身的特性,一般情况下不具备独立成藏的可能。氦气通常只以天然气组分之一的形式出现,当其含量已满足工业品位需要时(含量大于0.1%),则可称这种天然气为富氦天然气。

对8个富氦盆地不同构造单元和地区的氦气含量及氦同位素特征进行统计整理后可以看出(表1),富氦盆地中氦气的含量基本都能满足工业品位的要求,即氦气组分含量大于0.1%。但其含量普遍小于1%,仅渤海湾盆地济阳拗陷花沟地区、苏北盆地东台凹陷、溪桥地区、塔里木盆地沙西2号构造及渭河盆地中部分样品的氦气含量大于1%。需要特别强调的是,渭河盆地29个样品中氦气含量大于1%的有11个,占总数的37.93%,最大值达4.942%;其余样品的氦气平均含量为0.43%,远大于其他富氦盆地中的氦气含量。曾经唯一进行过氦气工业开采的四川盆地威远气田,22个样品的氦气含量平均值仅为0.22%,说明渭河盆地氦气资源具有一定的开发潜力。

自然界中存在的氦是不同成因的氦按照不同比例的混合,通过对富氦盆地中氦气的同位素值进行测定,可以计算出幔源氦所占的百分含量(表1)。统计结果表明,海拉尔盆地幔源氦含量为17.9%;松辽盆地北部幔源氦含量为1.3%~38.25%,平均含量为16.03%;松辽盆地南部幔源氦含量有所增加,为60%~70%。渤海湾盆地辽河拗陷、济阳拗陷花沟地区幔源氦含量较高,为50%左右;渤海湾盆地黄骅拗陷多数井幔源氦含量可达20%左右,少数井幔源氦含量仅为3%左右;渤海湾盆地东濮凹陷幔源氦含量5%左右;苏北盆地及三水盆地幔源氦含量以40%~50%为主,个别井可达60%左右,少数井幔源氦含量为20%左右;塔里木盆地幔源氦气含量为1%左右;四川盆地威远气田幔源氦含量最大值仍小于0.3%;渭河盆地幔源氦含量几乎全部小于1%,极个别井中幔源氦含量的最大值也小于6%。

综上所述,中国东部各富氦盆地(海拉尔盆地、松辽盆地、渤海湾盆地、苏北盆地、三水盆地)氦气来源以壳幔混合为主,幔源氦含量以20%及50%左右为主;西部(塔里木盆地)及中部(四川盆地、渭河盆地)地区的氦气为壳源成因,仅混有少量甚至微量的幔源氦。

3 影响富氦天然气分布的主要因素

氦气以气态单原子的形式,作为天然气组分的一部分在地质体中富集,其分布规律同天然气一样受到天然气成藏地质条件,即气体源岩、运移方式、储盖保存条件等的影响。

壳源氦主要来源于放射性元素U、Th系列的衰变,而这些放射性元素主要来源于古老的变质岩、混合岩、花岗岩等^[39-42]。岩石学特征通常表现为黑云母花岗岩或二长花岗岩-二云母花岗岩的演化系列;具有高铝、富铀、富硅(钾)、低钙、低暗色组分的特征;岩体常伴随强烈的蚀变,包括白云母化、绿泥石化、碱交代、硅化、赤铁矿化、黄铁矿化、萤石化、碳酸盐化等^[43-46]。从构造环境分析,富铀岩体分布多受深大断裂的控制,地壳应力处于舒张状态的地质构造环境有利于放射性元素富集,尤其是地壳运动由挤压转换为伸展的时期。从形成时代分析,中国富铀岩体多属于燕山期和印支期。综上所述可以认为,中国壳源氦的气源岩是以燕山期和印支期为主富含U、Th等放射性元素的黑云母花岗岩或二长花岗岩-二云母花岗岩系列。

幔源氦是地球形成时保留在地幔中的原始气体,可以通过深大断裂发生运移,或随熔体和火山活动上升到地壳中。因此,氦气在地壳中的分布仍表现为与地幔物质相邻近的特征,即氦气在可能含有地幔包体(二辉橄橄榄岩)的基性岩(玄武岩、辉绿岩)附近富集。

由于氦气的分子量很小,与其他气体相比具有更强的渗透性,因此,在同样的保存条件下氦气的散失量更大。为了弥补散失量,就要有源源不断的补给量,从此角度分析,“源控论”的观点也适用于氦气的分布,即氦气经过运移后在气源岩附近的有利区域富集。通过对氦气源岩的分析可知,无论是壳源成因还是幔源成因的氦气都与岩浆活动密切相关。从图3可以看出,富氦盆地的周围均有不同类型的岩浆岩出露,以壳源氦气为主的渭河盆地、塔里木盆地周围多出露花岗岩;幔源氦含量较高的松辽盆地北部有玄武岩出露。除出露地表的岩浆岩外,隐伏的岩浆岩更可能是氦气的直接源岩。富氦盆地形成的早期阶段都经历了较强烈的岩浆和断裂活动,岩浆可为富氦天然气提供物质来源,断裂活动可为富氦天然气提供运移通道,生成的氦气

表 1 中国富氦天然气中氦气含量及氦同位素特征

Table 1 Helium content and helium isotopic characteristics of helium-rich nature gas in China

沉积盆地、构造单元、 地区或油气田	取样井	气体组分及含量/%				同位素特征 $^3\text{He}/^4\text{He}$	幔源 含量/%	R/Ra	参考文献
		CH ₄	N ₂	CO ₂	He				
海拉尔盆地	苏6					2.08×10^{-6}	17.9	1.49	
	新乌1				0.18				[26]
	乌13				0.04				
松辽盆地北部	古106	80	1.59	0.72	0.31				
	杜613	84.25	13.99	1.71	0.119				
	来63	91.98	7.64	0.19	0.13				
	英20	92.04	6.53	0.35	0.13				
	宋3	93.69	4.98	0.09	0.11				
	双13	79.36	18.41	0.92	0.124				
	升63	82.88	12.36	2.16	0.241				
	朝90	91.03	6.96	0.08	0.251				
	芳深1	89.51	8.28	0.27	0.404				
	汪902	94.39	3.05	0.24	0.102				
	昌201	93.91	4.93	0.27	0.22				
	芳深701	53.35	0.56	45.2	0.12				
	尚深1		87.91	10.04	0.226				
	升深201	89.06	2.76	6.87	0.333				[23]
	汪9-12	93.87	1.95	0.26	2.104				
	塔301					2.66×10^{-6}	24		
	塔30-25					1.65×10^{-6}	14.8		
	龙51-24					1.23×10^{-6}	11.1		
	杏5-3-2					1.86×10^{-6}	16.9		
	喇9-213					2.41×10^{-6}	21.9		
喇6-209					3.05×10^{-6}	27.7			
升58					1.37×10^{-6}	12.4			
升81					1.01×10^{-6}	9.1			
芳深4					1.37×10^{-6}	12.4			
芳深9					4.21×10^{-6}	38.2			
朝92-76					2.88×10^{-7}	2.6			
三2					1.43×10^{-7}	1.3			
松辽盆地南部万金塔 构造	万2					7×10^{-6}			
	万5			>99		6.3×10^{-6}	60-70		[20]
	万6					7.2×10^{-6}			
渤海湾盆地辽河拗陷	界3	≈80	18.4		0.1	5.5×10^{-6}	>50		[24]
渤海湾盆地济阳拗陷 花沟地区	花501	1.01	50.94	44.98	3.2	4.47×10^{-6}		3.2	
	花501	74.76	6.1	18.04					[24-27]
	花501	1.77	61.86	34.27	3.1	4.34×10^{-6}		3.1	
渤海湾盆地黄骅拗陷	孔古7a					2.9×10^{-6}	26.2	2.07	
	孔古7b					2.52×10^{-6}	22.8	1.81	
	孔古7c					2.2×10^{-6}	19.9	1.57	
	孔古3					1.33×10^{-6}	11.9	0.95	
	孔古4					8.97×10^{-7}	6.4	0.64	
	板中14					2.82×10^{-7}			
	管187					4.32×10^{-7}			[20,27]
	港深7					4.85×10^{-7}			
	港151					5.05×10^{-6}			
	新8-8					3.04×10^{-6}			
西10-7					3.81×10^{-6}				
西46-6					1.48×10^{-6}				
西9-12					2.85×10^{-6}				

续表1-1

沉积盆地、构造单元、 地区或油气田	取样井	气体组分及含量/%				同位素特征 $^3\text{He}/^4\text{He}$	幔源 含量/%	R/Ra	参考文献
		CH ₄	N ₂	CO ₂	He				
渤海湾盆地东濮凹陷	文23					2.23×10^{-7}			
	文108					3.28×10^{-7}			
	白10					8.62×10^{-7}			[20]
	开28					8.48×10^{-7}			
苏北盆地东台凹陷	纪1					6.42×10^{-6}			
	苏泰174					5.54×10^{-6}			
	永7					7.45×10^{-7}			[20-21]
	黄浅2	27.39	57.87	8.8	1.2	4.9×10^{-6}	≈50	3.2	
苏北盆地东台凹陷黄 桥地区	黄浅14	27.44	63.26	4.26	1.34	3.7×10^{-6}	≈40	2.65	
	黄验1	0.07	0.34	99.5		4.9×10^{-6}			
	黄验1	0.07	4.49	94.25					[20-21]
	苏太1	0.65	9.65	87.3					
苏北盆地溱潼凹陷	苏太1	0.74	1.01	98.19		6.4×10^{-6}	50-60		
	苏203	2.65	5.09	92.06	0.089	3.84×10^{-6}	≈40	2.74	[22]
苏北盆地金湖凹陷	苏190	31.38	33.07	15.45	0.096	3.56×10^{-6}		2.54	
	闵7	67.17	23.12	0.55	0.096	1.75×10^{-6}		1.25	
	卞9-2	78.73	20.08	0.18		2×10^{-6}		1.43	[21]
	天深33	79.97		7.56	0.085	4.39×10^{-6}	40	3.13	
苏州溪桥地区	天深45	96.46	2.73	0.41	0.081	2.87×10^{-6}		2.05	
	黄浅11	24-28	56	15	1.06	3.71×10^{-6}		2.65	[28]
三水盆地	水深3	65.63	10.97	12.54	0.26	5.7×10^{-6}			
	水深3				0.3	5.76×10^{-6}			
	水深12	72.99	15.26	1.45	0.25		>50		
	水深12				0.245	4.08×10^{-6}			
	水深11	69.13	11.04	5.95	0.085				
	水深9	0.29	0.007	99.6		6×10^{-6}			
	水深9				0.008	6.02×10^{-6}	≈60		
	水深24	0.25	0.32	99.45		6.3×10^{-6}			[20]
	水深24					6.39×10^{-6}			
	水深44	12.29	1.79	83.99					
	水深44				0.11	6.26×10^{-6}			
塔里木盆地和 田河气田	宝1					1.6×10^{-6}			
	水深17				0.014	1.71×10^{-6}			
塔里木盆地 巴什托构造	南20				0.145	2.45×10^{-6}			
	5排1					2.9×10^{-6}			
塔里木盆地 亚松迪构造	玛2					1.07×10^{-7}			
	玛4					1.08×10^{-7}			[17]
	玛401					1.16×10^{-7}			
塔里木盆地 沙西2号构造	麦3	61.19	26.3	1.18	0.73				[16,18]
	麦4	65.59	23.28	2.03	0.68				
塔里木盆地 沙西2号构造	巴探2	72.66	14.6	3.07	0.22				[18]
	沙参2	77.85	4.55	6.02	0.07				
塔里木盆地 雅克拉构造	沙6	90.85	4.98	2.27	0.19				
	沙5	70.37	6.88	19.43	0.22				[18]
	沙15	87.55	2.59	1.35	0.05				
	沙15	80.59	4.49	2.27	0.09				
塔里木盆地 沙西2号构造	沙15	87.44	7.84	2.1	0.32				
	沙13	57.94	33.76		2.19				[18]
塔里木盆地沙雅隆起					2.16×10^{-7}			[17]	

续表 1-2

沉积盆地、构造单元、 地区或油气田	取样井	气体组分及含量/%				同位素特征 ³ He/ ⁴ He	幔源 含量/%	R/Ra	参考文献
		CH ₄	N ₂	CO ₂	He				
四川盆地威远气田	威浅 1	98.36	0.4		0.033				
	威浅 1	97.36	0.8						
	威 7	94.82	5		0.166				
	威 7	94.82	3.02						
	威 7	94.88	2.49	1.97	0.07				
	威 7	94.17	3.09	1.82	0.003				
	威 26	92.68	5.12			1.8×10 ⁻⁸		0.01	
	威基井	89.6	4.84		0.12				
	威 Z	88.5	6.67		0.203				
	威 23		7.4		0.235				
	威 23	85.44	8.14	4.75	0.262				
	威 28	90.8	9.17						
	威 28	86.21	7	5	0.308				
	威 28	67.63	26.7	1.23	0.248				[9, 11-12]
	威 28	67.03	26.7	1.23	0.248				
	威 29	82.9	15.31			2.8×10 ⁻⁸		0.02	
	威 5	86.76	7.24	4.4	0.362	3.03×10 ⁻⁸		0.02	
	威 5	86.41	7.59	4.58	0.23		<0.3		
	威 5	94.28	3.36		0.108	3.03×10 ⁻⁸			
	威 2	85.07	8.33	4.86	0.25	2.9×10 ⁻⁸		0.02	
威 27	87.07	6.02	5.19	0.305					
威 27	85.85	7.81	4.7	0.218					
威 30	86.57	7.55	4.4	0.342					
威 39	86.74	7.08	4.53	0.273					
威 100	86.8	6.47	5.07	0.298					
威 106	86.54	6.26	4.82	0.315					
威 46	85.66	8.11	4.66	0.252					
渭河盆地	西京回灌井	18.86	77.36	0.75	1.487				
	西京开采井	16.50	75.63	5.608	1.099				
	省邮管局	12.08	85.4	0.532	1.275				
	体育学院	11.77	84.95	0.538	1.08				
	电力职大	10.7	32.18	53.34	0.4				
	电力职大	7.423	14.11	76.40	0.203				
	丰盛园	5.477	90.47	0.733	0.807				
	华夏温泉	12.05	66.62	16.58	0.254				
	华夏温泉	11.38	49.44	36.85	0.394				
	第四军医大	10.46	82.35	4.574	1.005				
	大明宫	6.085	88.03	3.191	0.811				
	秦宝娱乐城	2.17			0.7	4.7×10 ⁻⁸		0.03	[29-32]
	户县灵山寺	16.95			0.477	6.5×10 ⁻⁸		0.05	
	户县苗圃	0.826			0.41	2.92×10 ⁻⁷		0.21	
	临潼 771 所	0.449			1.076	7.8×10 ⁻⁷	≈6	0.56	
	临潼临 2 井	0.144			0.84				
	峪后温泉	0.965			3.395	1.26×10 ⁻⁷		0.09	
	蓝田东汤峪	0.81			0.129	5.02×10 ⁻⁸		0.04	
	电子科大	5.581			1.053	3.61×10 ⁻⁸		0.03	
	唐园小区	10.23			1.177				
供销公司	3.626			0.308	5.56×10 ⁻⁸		0.04		
武警医院	3.689			0.745					
西安电缆厂	10.17			0.427	5.17×10 ⁻⁸		0.04		

续表 1-3

沉积盆地、构造单元、 地区或油气田	取样井	气体组分及含量/%				同位素特征 $^3\text{He}/^4\text{He}$	幔源 含量/%	R/Ra	参考文献
		CH ₄	N ₂	CO ₂	He				
渭河盆地	中医学院	82.44			0.114	1.49×10 ⁻⁷	0.11		
	WR2	47.84	26.26	19.3	0.163				
	WR1	70.12	7.77	17.8	0.1				
	WR4	24.57	43.3	28.5	0.379			[29-32]	
	051	28.3	62.86	2.1	4.942				
	051JS	18.03	67.78	1.1	3.365				

注:表中全部数据均为引用

通过运移在遇到有利圈闭后发生聚集。资料显示^[47-49],钻遇到花岗岩地层或位于古火山口、深大断裂附近的井会表现出较高的氦气含量,说明氦气分布明显受到其源岩的控制。

对于壳、幔不同成因的氦气,其运移通道并不完全相同。中国东部的富氦盆地普遍含一定量的幔源氦,而这些盆地均沿郟庐大断裂带分布,且表现出距离断裂带越近幔源氦含量越高的特点。郟庐大断裂带是深达地幔的断裂,是连接地幔和地壳的纽带,也是幔源氦运移至地壳的通道。而壳源氦则在地壳中的岩石圈生成,虽然与正常沉积条件下生成的油气相比埋藏较深,但与幔源氦相比其埋深较浅,因此壳源氦的运移通道并不仅限于超壳断裂,任何规模的断裂、不整合面、裂缝,甚至砂体都可能成为它的运移通道。

无论壳源氦还是幔源氦,生成或形成后都会作为天然气的组分之一,与天然气一起发生运移,在遇到有利的圈闭后聚集成藏。因此氦气对储层条件并没有过高的要求,会同天然气一起在储集层中聚集。但由于氦气分子量很小,有很强的渗透性,容易逸散,因此要求盖层具有很强的封堵性。研究表明^[12, 23, 27-31],在具备氦气源岩及运移通道的基础上,石油、天然气的赋存层位即为氦气的赋存层位,且盖层封闭性越强的地区氦气含量越高。

4 中国富氦天然气研究方向

4.1 重视氦气的壳源成因

通过对前人研究资料的统计可以看出,中国中、西部地区的氦气为壳源成因,仅混有少量甚至微量的幔源氦;东部地区的氦气为壳幔混合成因,幔源氦含量以20%及50%左右为主,也就是说,壳源

氦的含量以80%和50%左右为主。以上数据表明,壳源氦在中国东、西、中部普遍存在,且含量较高,是中国氦气的主要成因类型。未来中国应以壳源氦为研究重点,兼顾幔源氦的研究。

4.2 根据氦气成因确定成藏要素

壳源氦和幔源氦不仅形成机理不同,埋藏深度也不同,这必然导致成藏要素的不同。壳源氦由Th、U等放射性元素衰变而来,因此,富含这些放射性元素的岩石相当于壳源氦的源岩。由于氦气的渗透性很强,不易保存,因此,靠近氦气源岩并能得到源源不断的补充对壳源氦的聚集成藏具有重要意义。而幔源氦则是来源于地幔的原始气体,幔源氦要得到补充必须通过能连通地壳与地幔的运移通道,因此,深大断裂是幔源氦聚集成藏的重要因素。

4.3 加强对中国氦气资源的综合研究

在认清中国氦气成因类型是以壳源氦为主的前提下,掌握不同成因氦气的主要成藏要素,开展对中国东、西、中部地区不同类型氦气的综合研究。东部地区在对原有幔源氦研究的基础上,加强壳源氦的研究;中、西部地区根据壳源氦靠近气源岩分布的理论,加强盆地基底富含放射性元素岩石的研究;对于还没有发现工业氦气的新区,可以适当采用逆向思维的方式,即之前人们利用测量氦的异常寻找油气、铀矿等矿产,现在则可以反过来,在已找到油气、铀矿等矿产的区域对氦气资源开展试探性的勘查工作。最后,在中国氦气资源潜力研究的基础上,同时开展工业天然气提氦技术的研究,为下一步中国氦气资源的开发利用做准备。

5 结论

通过分析中国氦气的研究现状、研究进展,总结

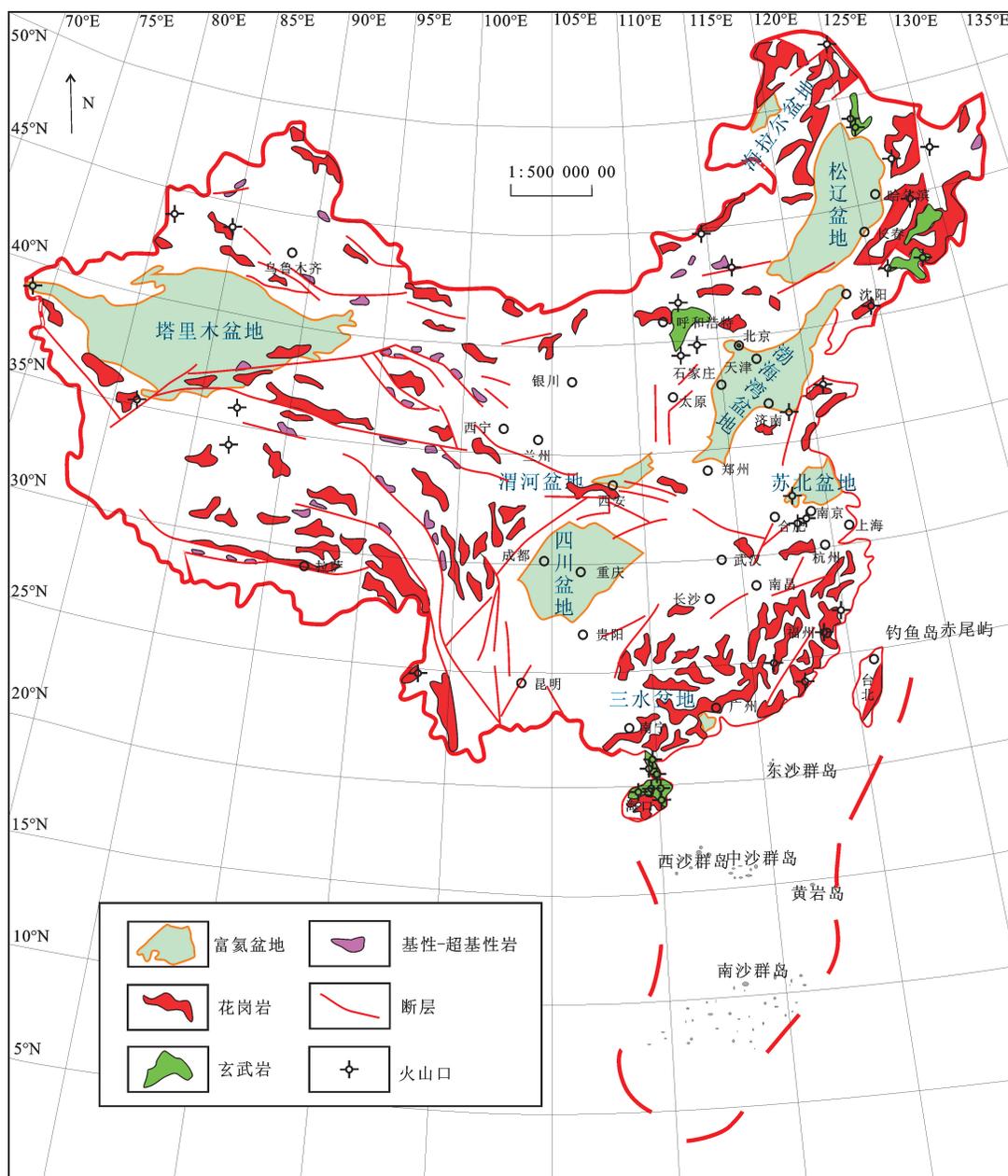


图 3 中国岩浆岩露头分布略图(底图据参考文献[50])

Fig. 3 Distribution of magmatic rock outcrops in China

了中国氮气的分布规律、成因类型及成藏要素,认为中国氮气资源无论在平面上还是纵向层位上都分布广泛,资源较丰富,其成因以壳源为主,壳幔混合为辅,富氮天然气藏的形成主要受气源岩、运移通道及储盖保存条件的控制。在此基础上,提出根据中国氮气的不同成因分别研究成藏主控要素的建议,呼吁加强对中国氮气资源进行勘探及开发利用方法的研究。

致谢:感谢陕西天然气集团渭河能源开发有限公司王行运教授级高工,三普石油工程公司张福礼教授级高工、孙启邦高级工程师等在渭河盆地氮气资源研究方面做出的贡献及对本人的指导与支持。

参考文献

[1]郝旭平. 关于我国氮气资源立法保护问题的建议[J]. 石油与天然

- 气化工,2009,38(5):393-395.
- [2]唐文俊.从世界氦形势看我国氦的未来[J].天然气工业,1986,6(4):96-100.
- [3]张子枢.我国氦资源及其开发与保护[J].资源开发与保护杂志,1987,3(4):28-31.
- [4]陆慕郭.天然气提氦工业的发展[J].石油与天然气化工,1989,18(1):41-45.
- [5]邢国海.天然气提取氦气技术现状与发展[J].天然气工业,2008,28(8):114-116.
- [6]龙增兵,琚宜林,钟志良,等.天然气提氦技术探讨与研究[J].天然气与石油,2009,27(4):28-31.
- [7]赵力军,吴国奇.氦市场及其应用[J].低温与特气,1997,4:8-10.
- [8]徐永昌,沈平,李玉成.中国最古老的气藏——四川威远震旦纪气藏[J].沉积学报,1989,7(4):3-13.
- [9]封万芳.威远天然气提氦的经济效益分析[J].天然气工业,1989,9(3):69-71.
- [10]陈文正.再论四川盆地威远震旦系气藏的气源[J].天然气工业,1992,12(6):28-32.
- [11]戴金星.威远气田成藏期及气源[J].石油实验地质,2003,25(5):473-480.
- [12]李淑仪.氦气测量法勘查油气的前景[J].勘探地球物理进展,1990,5:66-76.
- [13]李鹤庆.氦气测量在塔里木东北找油中的地质效果[J].物探与化探,1990,14(2):151-154.
- [14]邓树立.氦气测量及其在塔里木盆地北部油气勘探中的应用[J].石油勘探与开发,1995,22(5):30-34.
- [15]常兴浩,宋凯.巴什托构造石炭系小海子组高氦气藏成藏机理浅析[J].天然气工业,1997,17(2):18-20.
- [16]王招明,王清华,赵孟军,等.塔里木盆地和田河气田天然气地球化学特征及成藏过程[J].中国科学(D辑),2007,37(增刊II):69-79.
- [17]余琪祥,史政,王登高,等.塔里木盆地西北部氦气富集特征与成藏条件分析[J].西北地质,2013,46(4):215-222.
- [18]徐永昌,沈平,陶明信,等.幔源氦的工业储聚和郯庐大断裂带[J].科学通报,1990,35(12):923-935.
- [19]杜建国.中国东部裂谷系地幔脱气的氦同位素证据[J].科学通报,1994,39(9):813-815.
- [20]陶明信,沈平,徐永昌.苏北盆地幔源氦气藏的特征与形成条件[J].天然气地球科学,1997,8(3):1-8.
- [21]丁涛.苏北地区含氦天然气资源综合利用前景展望[J].内蒙古石油化工,2010,17:64.
- [22]冯子辉,霍秋立,王雪.松辽盆地北部氦气成藏特征研究[J].天然气工业,2001,21(5):27-30.
- [23]冯子辉,钟延税,王红娟.松辽盆地北部氦气资源勘探前景展望[J].资源调查,2001,8:31-32.
- [24]曹忠祥,车燕,李军亮,等.济阳拗陷花沟地区高含He气藏成藏分析[J].石油实验地质,2001,23(4):396-399.
- [25]王江,张宏,林东成.海拉尔盆地乌尔逊含氦CO₂气藏勘探前景[J].天然气工业,2002,22(4):109-111.
- [26]张晓宝,徐永昌,孙明良,等.黄骅拗陷含油储层包裹体中幔源氦的发现及其地质意义[J].中国科学(D辑),2003,33(7):674-678.
- [27]叶先涛.江苏溪桥地区氦气藏天然气富集规律及资源前景[J].江苏地质,2003,27(4):207-210.
- [28]薛华锋,朱兴国,王润三,等.西安地热田伴生富氦天然气资源的发现及意义[J].西北大学学报(自然科学版),2004,34(6):751-754.
- [29]卢进才,魏仙样,李玉宏,等.汾渭盆地富氦天然气成因及成藏条件初探[J].西北地质,2005,38(3):82-86.
- [30]柴先平.西安地热水伴生富氦天然气成因研究[D].长安大学硕士研究生学位论文,2007.
- [31]刘建朝,李荣西,魏刚峰,等.渭河盆地地热水水溶氦气成因与来源研究[J].地质科技情报,2009,28(6):84-88.
- [32]李玉宏,卢进才,李金超,等.渭河盆地天然气成因特征及其意义[J].西安石油大学学报(自然科学版),2011,26(5):11-16.
- [33]张福礼,孙启邦,王行运,等.渭河盆地水溶氦气资源评价[J].地质力学学报,2012,18(2):195-201.
- [34]石建芬,李晴,尹芳列.国内首口氦气预探井完成试气[N].中国矿业报,2013-06-01(A03).
- [35]中国国土资源部.新一轮全国油气资源评价[M].北京:中国大地出版社,2010.
- [36]徐永昌,沈平,陶明信,等.中国含油气盆地天然气中氦同位素分布[J].科学通报,1994,39(16):1505-1508.
- [37]骆满生,卢隆桥,贾建,等.中国中生代沉积盆地演化[J].中国地质大学学报,2014,39(8):954-976.
- [38]王鸿祯,刘本培.中国中元古代以来古地理发展的轮廓[J].地层学杂志,1981,5(2):77-89.
- [39]柳益群,冯乔,杨仁超,等.鄂尔多斯盆地东胜地区砂岩型铀矿成因探讨[J].地质学报,2006,80(5):761-769.
- [40]王永和,焦养泉,吴立群.从铀成矿条件分析西北地区砂岩型铀矿找矿[J].西北地质,2007,40(1):72-82.
- [41]张万良.华南铀矿类型、特点及其空间分布[J].矿产与地质,2011,25(4):265-272.
- [42]张金带,徐高中,陈安平,等.我国可地浸砂岩型铀矿成矿模式初步探讨[J].铀矿地质,2005,21(3):139-145.
- [43]冯明月,何德宝.富铀花岗岩源岩特征[J].世界核地质科学,2012,29(1):1-7.
- [44]刘正义,刘红旭.花岗岩铀成矿作用的模拟实验[J].地学前缘,2009,29(1):99-113.
- [45]章邦桐,吴俊奇,凌洪飞,等.花岗岩铀地球化学特征新认识——以赣南富城产铀花岗岩体为例[J].资源调查与环境,2011,32(3):157-168.
- [46]张振奋.华南花岗岩型富大铀矿区域成矿规律分析[J].西部探矿工程,2007,2:117-118.
- [47]张雪,刘建朝,李荣西,等.渭河盆地地热水溶气资源分布规律[J].地质找矿论丛,2014,29(3):392-399.
- [48]李玉宏,卢进才,李金超,等.渭河盆地富氦天然气井分布特征与氦气成因[J].吉林大学学报(地球科学版),2011,41(1):47-53.
- [49]韩伟,李玉宏,卢进才,等.陕西渭河盆地富氦天然气异常的影响因素[J].地质通报,2014,33(11):1836-1841.
- [50]马丽芳.中国地质图集[M].北京:地质出版社,2002:1-348.