

渭河盆地氦气资源远景调查进展与成果

李玉宏¹, 王行运², 韩伟¹

(1. 中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054; 2. 渭河能源公司, 陕西 渭南 714000)

摘要: 以评价渭河盆地氦等天然气远景为目的, 2013年中国地质调查局启动了由西安地质调查中心实施的“渭河盆地氦气资源远景调查”计划项目, 项目采取多单位联合攻关, 多行业资料共享, 物化探等多手段联合实施的工作方法, 初步探索了氦气成藏模式和调查方法, 总结了氦气富集成藏必须具备氦源岩、高效运移通道和载体气藏3大条件, 得出渭河盆地具备良好的氦、甲烷等天然气成藏条件等成果, 并提出渭河新生代盆地基底部分残存晚古生代煤系地层的新认识。

关键词: 渭河盆地; 氦气; 生物气; 基底组成

中图分类号: TE132

文献标志码: A

文章编号: 2095-8706(2015)06-0001-06

0 引言

氦是一种无色、无味、不燃烧也不助燃的稀有惰性气体, 在标准状况下, 氦是熔点和沸点最低的已知元素, 是唯一不能在正常压力下固化的元素。由于其特殊的物理化学性质, 而成为低温学领域的无价之宝。氦目前广泛用于航天工业、核工业、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、光电子产品生产等高科技领域^[1,2]。氦气在干燥空气中含量极微, 平均只有百万分之五。世界氦产量最大的美国中东部地区的天然气中 $\varphi(\text{He})$ 平均约为0.8%, 个别天然气高达7.5%, 是空气的15 000倍。可是这种高氦的天然气矿藏并不多, 一般只有在天然气藏附近有铀矿时, 氦气才能在天然气中汇集。世界氦气的产地主要分布在美国、波兰、阿尔及利亚、俄罗斯等国, 并且美国的5大气田占据了世界氦气产量和储量的大部分, 美国生产的氦气占世界总产量的80%以上^[1]。

天然气中的氦浓度达到0.05%~0.1%时, 就具有工业价值^[3]。国内现有的天然气田的天然气氦含量极低, 氦含量最高的威远气藏也仅为0.2%。目前中国发现的氦气资源量较少, 因此深入研究氦气的

成藏条件, 寻找氦气资源具有重要的现实意义。

1 成果简介

1.1 渭河盆地具有良好的氦气富集成藏地质背景

形成工业氦气藏的条件除常规天然气气藏的储、盖与圈闭条件外, 还与以下3个条件有关: ①伸展性断裂发育的构造活动区(伸展性断裂发育并与上地壳深部或地幔勾通, 从而发育开启性良好的通道, 使氦气藏能源源不断地得到补给); ②盆地基底和周边发育火成岩体, 无论是壳源氦还是幔源氦气藏, 其来源都与深部岩浆作用有关, 壳源氦与富铀花岗岩关系密切^[4-6](图1); ③氦气不能独立成藏, 必需有载体气(CH_4 、 CO_2 、 N_2 等)气藏存在, 形成富氦载体气藏^[6]。

渭河盆地具备氦气成藏基本条件: ①盆地深部和周边花岗岩体发育; ②现今仍为构造活动区, 大断裂发育; ③具有 CH_4 等载体气藏成藏条件, 并显示有天然气成藏信息。

1.2 渭河盆地广泛的氦气显示, 预示了良好的资源前景

渭深13井曾钻遇良好的气显示。油气测试产

收稿日期: 2015-04-09; 改回日期: 2015-05-15。

基金项目: 中国地质调查“渭河盆地及伴生气资源远景调查与选区评价(编号: 12120113040300)”和国家基金委自然科学基金面上基金项目“壳源氦气有效氦源岩研究(编号: 41572131)”项目联合资助。

作者简介: 李玉宏(1968—), 男, 教授级高级工程师, 主要从事油气及非常规能源地质调查工作。Email: 929726833@qq.com。

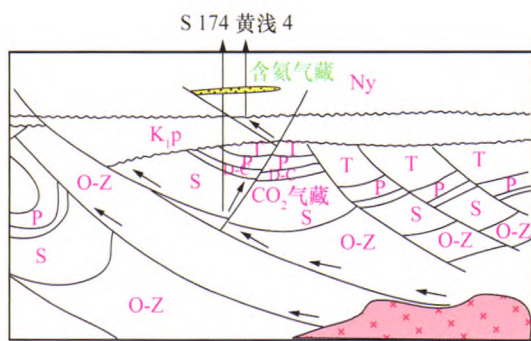


图 1 苏北地区断裂系统与含氦气藏关系图

Fig. 1 The fault system and helium gas reservoirs in Northern Jiangsu province

少量天然气,气体组分为甲烷 20.80% ~ 22.9%,重烃 0.09% ~ 0.19%,氮气 50% ~ 76%,氦气 2.13% ~ 4.14%。

渭河盆地新生界地热井中伴生气显示十分普遍^[7-9]。世界上氦含量大于 1% 的气藏极少,目前国内报道氦含量大于 1% 的仅黄桥气田黄浅 2 井、黄浅 14 井,而区内 63 口井的气体样品中氦含量大于 1% 的有 31 口,最高达 9.23%,居世界前列,资源品位高。氦气含量较高井与靠近深大断裂分布的磁性体有关^[9,10]。

1.3 渭河盆地存在多种氦气赋存状态

天然气在自然界赋存状态有游离态、溶解态、吸附态及水合态。前 3 种都是渭河盆地氦气可能的赋存状态。

吸附气在自然界广泛存在,但开发利用难度大、效益差,吸附态氦气未见专门开发利用的报道。

从理论上讲,凡是已经找到了油气聚集的盆地都存在水溶气资源,那些没有发现工业价值油气藏的盆地也可能有水溶气资源。已查明的水溶气的资源量非常丰富,但多数气体在水中的溶解度低,水溶气资源丰度一般较低,经济性差,影响了对其的进一步利用^[11]。

目前获得广泛工业利用和具有巨大经济效益的主要是以游离态赋存的常规天然气。氦与载体气一起以游离态赋存于地层圈闭中,是目前最有利于工业利用和具有良好经济效益的氦赋存状态。

现有资料初步表明,渭河盆地不仅具有丰富的水溶氦气^[12],还存在游离态富氦天然气藏。水溶气资源量巨大,一旦分离、集输与多种资源综合利用工艺获得突破,应用前景广阔。游离态富氦天然气经济、社会效益显著。

渭深 13 井蓝田 - 灞河组气层测试时曾发生“井喷”,气体自井内喷出 7 m 多高,说明“气层”应有一定的压力和产能,说明渭河局部存在富氦天然气藏。

长期观测的三普 2 号井,在供暖季取水量增加,井口压力减小时,不仅伴生气总量增加,伴生气相对含量也增加,说明伴生气为非水溶气。如果是水溶气,则对于压力相对稳定的地层水中水溶气含量基本稳定,产水量增加时,产气量同比例增加,而气水比不应有大的变化。气水比随压力变化,且略有滞后,差别可达数倍,只能说明压力下降可“解放”气层产能,压力下降时气层产出量比水层产出量增加更多,气水产出不同源,不是水溶气。

1.4 渭河新生代盆地基底组成新认识

根据盆内广泛分布的高热演化煤型甲烷气及有机成因 CO₂ 气,结合地质及物探成果推测渭河盆地存在上古生代煤系地层^[13]。渭河盆地邻区,鄂尔多斯盆地内部(陕北斜坡)广泛分布的上古生界煤系地层及三叠系烃源岩,广泛出露于鄂尔多斯盆地南缘铜川 - 韩城(即渭北隆起)一带,在秦岭地区也有多处零星残留。上古生代煤系地层是鄂尔多斯盆地最重要的烃源岩层系,渭河新生界盆地基底能够保存或部分残留该套地层,将是渭河盆地烃类气的重要气源岩,也为氦气富集提供了重要的载体气。

1.5 明确了氦等伴生气成因类型与纵向分布特征

区内伴生甲烷气普遍发育,渭河盆地地热井伴生气氦同位素为 2.06×10^{-8} ~ 76.0×10^{-8} ,以壳源氦为主,形成了独特的壳源氦为主体的高氦 - 富氦天然气(图 2)。

气体中含甲烷普遍,多数井甲烷含量为 10% ~ 20%,固市凹陷渭南中医学院地热井水中伴生气甲烷含量为 82.86%,渭热 1 井伴生气甲烷含量为 89.74%;渭热 2 - 1 井张家坡组产可燃自喷气,甲烷含量达 98.51%,发育甲烷气藏。浅层(张家坡组)甲烷气为生物气,深部以高热演化煤型甲烷气为主^[14]。

1.6 新近系张家坡组具有生物气资源基础,固市凹陷生物气资源前景初现

固市凹陷渭南中医学院地热井水中伴生气甲烷含量为 82.86%,渭热 1 井伴生气甲烷含量为 89.74%;渭热 2 井发现良好气测显示,渭热 2 - 1

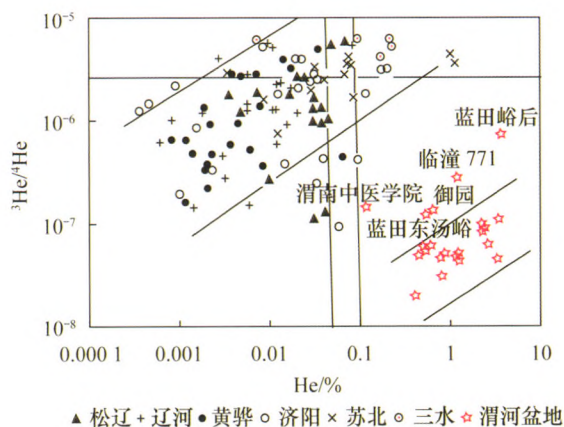


图 2 渭河盆地氦体积分数—氦同位素关系及与我国东部气田对比图

Fig. 2 The helium volume fraction and helium isotope diagram of Weihe basin and Eastern China

井张家坡组产可燃自喷气,甲烷含量达 98.51%,发育甲烷气藏。渭河盆地固市凹陷新近系张家坡组湖相暗色泥岩累计厚度数百米,最大累计厚度达 800 余 m (图 3),有机碳含量最大为 1.3%,一般 0.5% 左右, R_o 值 0.48% ~ 0.60%,平均 0.55%,演化程度为未成熟阶段,是重要的生物气源岩^[11]。固市凹陷南部 20 余 km^2 范围内,10 余口地热井新近系张家坡组产出低产可燃生物气(甲烷)流(图

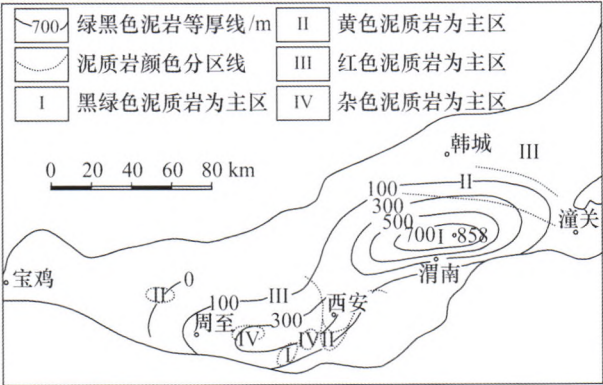


图 3 渭河盆地张家坡组暗色泥岩等厚图

Fig. 3 Isopach map of dark mudstone in Zhangjiapo Formation of Weihe basin

4),生物气初现规模,资源前景良好。

1.7 探索了氦气物化探调查方法

重力、电法和地震可探测盆地结构、构造。壳源氦来源于铀钍衰变,花岗岩铀钍含量相对较高,是主要的氦源岩,盆地沉积盖层中发育花岗岩侵入体时,地表显示弱正磁性异常,1:5 万磁测可进一步查证和圈定磁性体(花岗岩)的分布范围(图 5)。氦气化探显示地下有氦的局部富集,地表异常以不规则块状异常为主,并与磁性体分布范围吻合较好(图 5、图 6),也反映了本区隐伏花岗岩是主要的氦



图 4 地热水伴生生物甲烷气点火照片

Fig. 4 Photos for the ignition of biogenic methane gas accompanying geothermal water

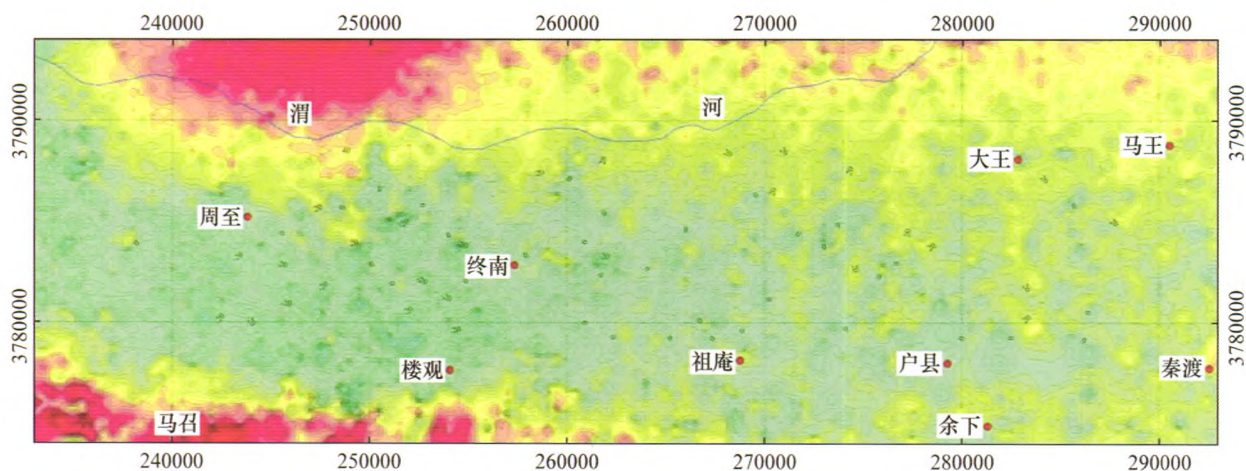


图 5 西安凹陷周至地区 1:5 万磁法测量成果图

Fig. 5 Map of 1:50 000 magnetic anomalies in Zhouzhi region of Xi'an depression

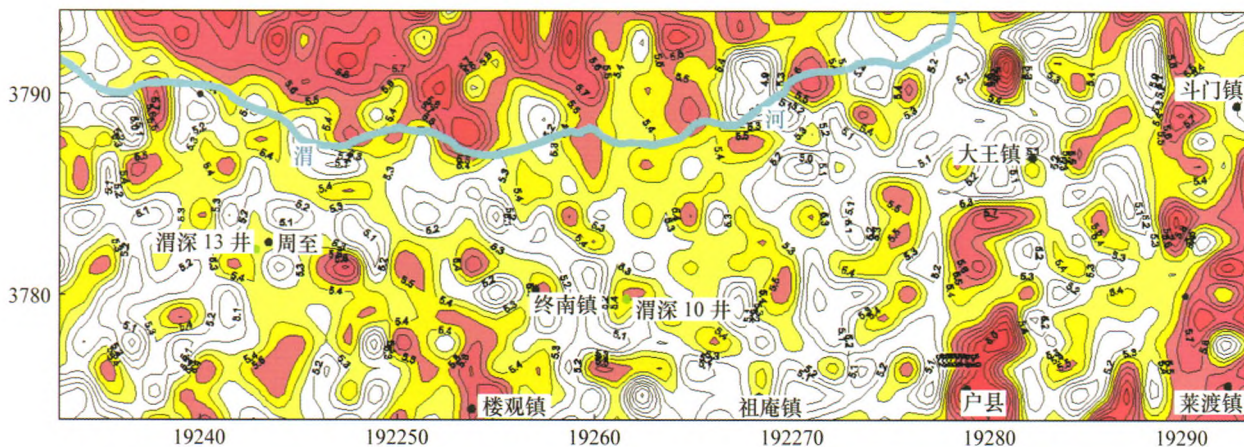


图 6 西安凹陷周至地区 1:5 万氦气化探成果图

Fig. 6 Map of 1:50 000 helium anomalies in Zhouzhi region of Xi'an depression

源岩。气测录井能够标定天然气相对富集层段。

1.8 探索了氮气的弱源气藏成藏模式,明确了进一步工作方向

氮气产生的速度相对较慢,但氮气运移或聚集的速度则相对较快,难以像常规油气那样以连续游离气相,靠浮力作为主要动力进行二次运移,而是以地下水为载体(水溶相或局部过饱和的有限分散游离相)进行二次运移,相对常规油气为弱源气藏(图 7)。这一模式对改造型叠合盆地深部烃源岩二次生气(强度较弱),以水溶态运移,游离态存储的深成弱源天然气成藏具有借鉴意义。

目前全球工业利用的氮气均为常规天然气藏的伴生氮气(甲烷等载体气在氮源元素铀的富集、He 的脱溶与保存过程中都发挥着重要作用,找 He 先得找其载体天然气气藏),根据氮气富集模式,可

确定渭河盆地氮气资源调查应针对 2 个矿种(氮和甲烷),4 种类型(水溶性氮、甲烷伴生氮、煤型甲烷、生物气甲烷),3 种气藏(富氮甲烷气藏、生物气藏、水溶氮气藏)开展工作,同时重视氮气藏。其中,寻找甲烷等天然气伴生氮气藏为氮气调查的主要方向,目前渭河盆地资料显示富氮甲烷气主要为产于深部的煤型甲烷气,浅部张家滩组生物气含氮普遍较低;水溶性氮气目前因绝对产量低,分离、提纯、集输难度大,工业利用工艺有待进一步突破;浅层甲烷生物气藏具有重要工业意义。

2 结 论

渭河盆地油气勘探的主要矛盾是缺乏烃源岩。上古生代煤系地层是鄂尔多斯盆地最重要的烃源

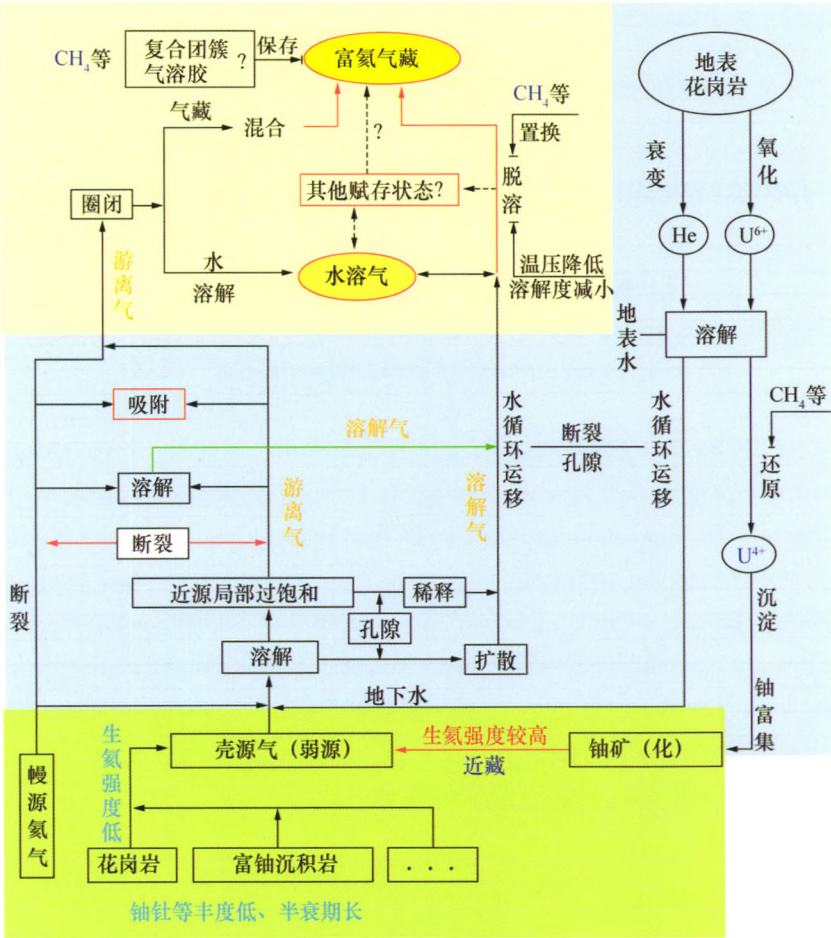


图 7 氦气成藏模式示意图

Fig.7 Schematic diagram of helium accumulation model

岩层系,渭河新生代盆地基底组成新认识为区内烃类气评价提供了重要气源岩,也为氦气富集提供了重要的载体气。

渭河盆地不仅具有天然气(氦载体气)的源、储、盖与圈闭条件,也具备氦源岩和高效运移通道等氦气成藏基本条件,区内地热(石油)并氦含量之高,国内外少见,天然气显示广泛,预示了良好的氦及烃类天然气资源前景。

参考文献:

[1] 王熙庭,任庆生. 氦资源、应用、市场和提取技术[J]. 天然气化工,2012,37(1): 73-78.

[2] 赵荟鑫,张雁,李超良. 全球氦气供应和价格体系分析[J]. 化学推进剂与高分子材料,2012,10(6): 91-96.

[3] 徐永昌,沈平,陶明信,等. 东部油气区天然气中幔源挥发份的地球化学-I [J]. 中国科学(D 辑),1996, 26(1): 187-192.

[4] 郭念发,尤孝忠,雷一心,等. 黄桥 CO₂ 气田特征及其勘探远景[J]. 天然气工业,2000,20(4): 14-18.

[5] 郭念发,尤孝忠,徐俊. 苏北盆地溪桥含氦天然气田地质及含氦天然气勘探前景[J]. 石油勘探与开发,1999,26(5):24-26.

[6] Brown A A. Formation of High Helium Gases: A Guide for Explorationists [C]. American Association of Petroleum Geologists Convention, New Orleans, Louisiana. 2010.

[7] 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(3):82-86.

[8] 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.

[9] 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(S1):47-53.

[10] 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.

[11] 周文,陈文玲,邓虎成. 世界水溶气资源分布、现状及问题[J]. 矿物岩石,2011,31(2):73-78.

[12] 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):195-202.

[13] 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.

烷气成因及其意义[J]. 地质通报, 2013, 32(11): 1790 - 1797.

[14] 李玉宏, 王行运, 韩伟, 等. 陕西渭河盆地东部渭热 2 井组甲

Progress and Achievements of Helium Gas Resources Survey in Weihe Basin

LI Yu-hong¹, WANG Xing-yun², HAN Wei¹

(1. Xi'an Center of Geological Survey, China Geological Survey, Xi'an, Shaanxi 710054, China;

2. Weihe Energy Company, Weinan, Shaanxi 714000, China)

Abstract: The project of "helium gas resources survey in Weihe Basin" focusing on the prospect of helium gas resources in Weihe basin is a plan project approved by China Geological Survey in 2013, and organized by Xi'an Center of Geological Survey. By multi units jointing, multi data sharing, and comprehensive geophysical and geochemical explorations, the helium gas accumulation models and survey methods have been preliminarily summarized. The resource rock, effective migration pathway, and reservoir of helium gas are the fundamental geological factors controlling helium gas accumulation, which have created the ideal conditions for helium and methane gas accumulation in Weihe basin. Furthermore, there are remnants of Upper Paleozoic coal measure strata at the basement of Cenozoic Weihe basin.

Key words: Weihe basin; helium gas; biogas; basement structure