

我国氦气资源调查评价进展

许光¹⁾, 李玉宏²⁾, 王宗起³⁾, 尤龙¹⁾

1) 中国地质调查局资源评价部, 北京, 100037; 2) 中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西西安, 710061;

3) 中国地质调查局发展研究中心, 北京, 100037

氦是已知的具最低熔点和沸点的元素, 来源于铀、钍放射性衰变和地幔脱气, 是重要的战略性稀有气体资源。因其化学惰性和沸点极低, 不仅应用于制冷、医疗、半导体、科研、石化、超导实验、光电子产品生产等方面, 还是军工、航天、核工业、深海潜水等领域重要的战略资源, 关系国家安全和高新技术产业发展(李玉宏等, 2018; 张雪等, 2018; 陶小晚等, 2019; 秦胜飞等, 2021)。

全球氦气总资源量约 $519 \times 10^8 \text{ m}^3$, 总储量约 $74 \times 10^8 \text{ m}^3$, 分布极不均匀, 主要分布在美国($206 \times 10^8 \text{ m}^3$)、卡塔尔($101 \times 10^8 \text{ m}^3$)、阿尔及利亚($82 \times 10^8 \text{ m}^3$)和俄罗斯($68 \times 10^8 \text{ m}^3$), 其中美国占世界资源总量的 40% 以上, 产量占世界的 56%, 在世界市场中均占主导地位。全球每年氦气需求量约为 $2 \times 10^8 \text{ m}^3$, 但年产量仅有约 $1.5 \times 10^8 \text{ m}^3$, 供不应求, 长期短缺。目前, 我国氦气年需求量约 $3000 \times 10^4 \text{ m}^3$, 年需求增长率超 12%, 但勘查开发程度极低, 资源量和储量情况不明, 仅在四川自贡威远气田进行提氦利用, 近年又新建了液化天然气尾气(BOG)提氦项目, 但年产量不足 $50 \times 10^4 \text{ m}^3$, 严重依赖进口, 且来源单一, 主要来自卡塔尔、美国和澳大利亚。

我国发现的可供工业开发的氦气资源量极少, 氦的生产和供应水平远远不能满足科学技术和经济建设发展的需求, 深入研究氦气成藏与勘探理论、技术, 寻找氦气资源是我国资源调查领域最为紧迫的任务之一。为促进我国氦气产业发展, 本文对我国氦气成藏理论技术方法、调查评价进展、氦气资源前景进行了综述, 提出了工作方向建议。

1 氦气成藏理论与技术方法进展

1.1 氦气的来源(氦源岩)

氦气通常以共伴生气形式赋存在天然气(页岩气、煤层气、氮气)或地热水中, 目前世界上尚未发现独立成藏的氦气藏。自然界中氦气有两种同位素, 分别是³He 和⁴He。一般认为氦气主要是由地壳岩石中的铀、钍元素发生放射性衰变产生或地幔岩浆脱气作用释放。根据³He/⁴He 的比值可以判断氦气的壳/幔来源类型。

研究表明, 地壳中富含铀、钍的岩石, 如富有机质泥页岩、花岗岩等, 均是良好的氦源岩。蒙炳坤等(2021)对上扬子地区的各类岩石铀、钍含量进行了系统采样和测试分析, 泥页岩和花岗岩的铀、钍含量最高, 经计算, 同等质量的岩石在相同时间内泥页岩生氦量最大。从美国潘汉德-胡果顿富氦气田、克利夫赛德富氦气田, 中国四川威远富氦气田、塔里木西南巴什托富氦气田的勘探实践来看, 富氦气田下部均有巨大的花岗岩体氦源岩, 同时发育上覆的富铀、钍的黑色泥页岩氦源岩。两种氦源岩同时存在, 对氦气的规模生成和聚集提供了双重保障, 这种组合模式是氦气找矿的重点方向。近年来晋中盆地氦气调查实践发现, 石炭系本溪组发育的铝土岩系中铀、钍含量高, 生氦速率仅次于泥页岩, 是一种新型优质氦源岩(李济远等, 2022)。

1.2 氦气弱源成藏赋存机理

与烃类天然气相比, 氦气是典型的弱源气, 氦源岩生气强度低, 难以像烃类天然气那样发生突破“压力封存箱”的大规模集中排气和形成排气高峰, 难以形成游离态气柱在浮力驱动下进入圈闭形成氦气藏, 因此也难以独立成藏。有效的氦源岩、高效运移通道和载体气藏是氦气成藏的基本条件。李玉宏等(2017a, 2017b, 2018)通过系统研究渭河盆地氦气成藏过程, 总结提出地下水(流体)循环为纽带, 水岩藏关系与赋存状态转换为核心, 铀氦关联的氦气弱源成藏模式(图 1)。

氦气在氦源岩形成后通过与其他载体气混合或者溶解在地下水中, 通过断裂等高效运移通道进而大规模远距离移到天然气等载体气藏中形成富氦气藏。对氦气在天然气藏中富集过程的认识, Brown(2010)提出氦气富集遵循亨利效应: 富氦地下水向上运移过程中随着压力降低, 氦气溶解度降低, 同时富氦地下水中有 CH_4 、 CO_2 等天然气通过时, 由于多组分气体竞争性溶解, 氦气更趋向于进入气相, 孔隙水中氦浓度迅速降低, 氦气大量脱溶并随着天然气的运移进入载体气藏形成富氦天然气藏。

在保存方面, 理论而言, 氦气分子极小, 无论是泥岩还是膏岩, 其孔吼直径均大于氦气分子直径, 无法阻止氦气分子

注: 本文为中国地质调查局能源矿产地质调查一级项目、国家重点研发计划课题(编号 2021YFA0719003)和中国地质调查局氦气资源调查评价与示范项目(编号 DD20230026)联合资助的成果。

收稿日期: 2022-03-17; 改回日期: 2022-07-18; 网络发表日期: 2023-05-05; 责任编辑: 邱楠生; 责任编辑: 周健。

作者简介: 许光, 男, 1984 年生。正高级工程师, 从事油气资源地质调查评价与管理。E-mail: 249370720@qq.com。

DOI: 10.19762/j.cnki.dizhixuebao.2023232.

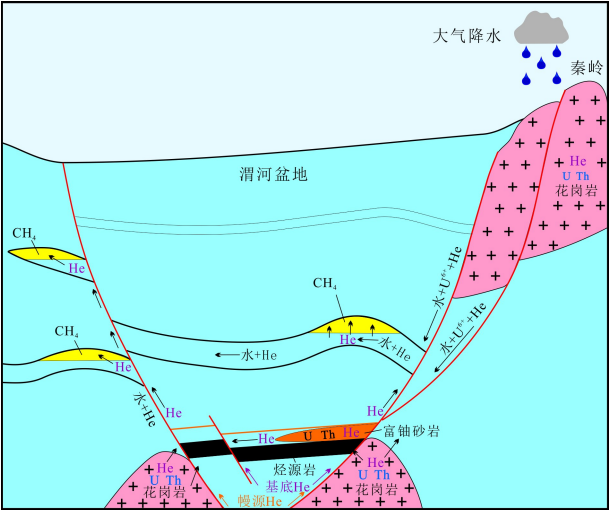


图1 渭河盆地源氦气弱源成藏模式示意图
(据李玉宏等,2018)

扩散。但由于亨利效应的存在,氦分子很难脱溶进入孔隙水,阻止了氦分子向上扩散(李玉宏等,2017)。同时,李玉宏等(2018)提出氦气在气藏中以“氦+载体气”团簇的赋存状态存在,臃肿的“氦气+甲烷”或者“氦气+二氧化碳”团簇在地层中移动缓慢,也有效地减少了氦气的逸散。因此,盖层对氦气的封闭保存,从本质上讲与对载体气的封存差别不大,都需要克服毛细管力才能穿透盖层。因此,能有效封盖烃类气体的盖层,也同样会用这种机制来封住氦气,即盖层封闭常规和非常规天然气能力与封闭氦气能力相当。另有学者认为,在氦气向上逸散的过程中,储集层与盖层之间的通量差导致了氦气的富集和保存(Sathaye et al., 2016a)。

1.3 氦气藏类型

通过研究世界主要富氦天然气藏形成的大地构造背景、盆地沉积演化、氦源岩与载体气源条件、气体运移富集机理、保存及封闭机制、同位素地球化学特点及成藏机理等,认为氦气藏主要在克拉通边缘、陆内裂谷盆地和深大断裂周缘有利于氦气富集(李玉宏等,2022)。

(1)克拉通边缘型氦气藏:主要特征是:克拉通的花岗质基底和上覆的黑色泥页岩层系是富铀、钍矿物的有效氦源岩,克拉通边缘的隆起带是富氦天然气富集的有利成藏位置,发育的断层和孔隙是氦气运移的主要通道,烃类气体等载体气构成富氦天然气藏的必要条件。研究发现,世界上目前已经投入开发的富氦天然气藏均属于克拉通边缘,属稳定区的活动带。美国的潘汉德-胡果顿气田位于北美克拉通西南的堪萨斯古隆起之上。阿尔及利亚哈希鲁迈勒气田位于东非克拉通北缘阿特拉斯褶皱带前缘。中国的威远气田位于上扬子西缘乐山龙女寺隆起之上,塔里木盆地北缘沙雅隆起、西部巴麦隆起具有丰富的富氦天然气显示,鄂尔多斯盆地北缘东胜气田氦含量高于盆地内部(何发岐等,2022)。

(2)陆内裂谷型氦气藏:花岗岩大面积展布的结晶基底发生裂谷作用后,氦源条件充足,深部岩浆活动为氦气向上

运移提供了通道和能量,氦气通过断裂和热作用在裂谷盆地内聚集成藏。2016年以来坦桑尼亚东非裂谷系鲁夸(Rukwa)、埃西亚(Eyasi)、巴兰吉达(Balangida)等裂谷盆地发现了巨大的氦气资源量(Danabalan et al., 2022;李玉宏等,2022b);我国汾渭地堑也发现了高含氦地热水,陆内裂谷型盆地是近年来氦气勘探的热点。

(3)深大断裂周缘型氦气藏:深大断裂带沟通了深部地幔和地壳氦源岩,为氦气向浅部运移和富集提供了良好通道,同时盆地内有机烃类气藏和无机非烃类气藏为氦气富集成藏提供了良好载体气条件。美国落基山脉地区是目前世界范围深大断裂周缘型富氦天然气藏富集的有利构造带,载体气主要为CO₂气,如美国Bravo Dome气田(Sathaye et al., 2016b)。我国郯庐断裂带是深大断裂周缘型富氦天然气聚集的典型区带,郯庐断裂带两侧的松辽盆地、渤海湾盆地、苏北盆地发现了富氦气田,最为典型的是黄桥富氦气田。

1.4 氦气调查技术方法进展

国内氦气勘探方法技术尚处在探索阶段,中国地质调查局西安地质调查中心总结了渭河盆地找矿模型,探索形成一套适用的氦气调查技术方法:成藏模式指引勘查方向,重力-电法探测盆地结构(高效运移通道),化探圈定氦气富集区,磁法识别基底磁性岩体(氦源岩),地震勘探落实有利圈闭,气测录井标定富集层段(李玉宏等,2015)。通过上述技术手段,基本查明了渭河盆地富氦地区地层层序和构造格架,重点刻画了隐伏花岗岩体(氦源岩)、断裂发育特征,优选圈定了华州—潼关、武功—咸阳、户县—蓝田等3处氦气资源远景区(李玉宏等,2018)。

2 我国氦气资源调查评价进展

富氦天然气提氦和液化天然气尾气(BOG)提氦是氦气的2个最主要来源,天然气中氦含量达到0.1%即可进行工业利用,而BOG提氦所需天然气氦品位更低。美国1910年发现的潘汉德-胡果顿气田氦气资源量112×10⁸ m³,之后未再进行大规模氦气资源调查;俄罗斯氦气主要产自西伯利亚和远东地区的高含氦气田;卡塔尔北方气田氦气资源量达101×10⁸ m³,但氦气含量仅0.04%,通过BOG提氦利用;阿尔及利亚氦气主要产自哈西雷美尔气田,通过BOG提氦利用;2016年英国杜伦大学和牛津大学在Goldschmidt大会宣布在坦桑尼亚发现高品级氦气田,氦含量2.7%~10.6%。近年来,随着世界新一轮氦气热,北美氦气公司、全球氦气公司正积极在北美、非洲、澳大利亚等地区开展氦气勘探(陈践发等,2021;贾凌霄等,2022)。

氦气常作为一种伴生气体,是应用于特殊领域的小众资源,我国氦气主要依赖进口,其重要性长期未引起行业部门的重视。20世纪,我国油田部门在四川盆地、苏北盆地等油气勘探中发现了伴生的氦气资源,但大多没有进行工业开发利用,仅四川威远气田进行了工业生产(李玉宏等,2018)。随着国家对氦气资源的重视,中国地质调查局2012年开始启动了渭河盆地等重点地区氦气资源调查,油田部门和部分

省市也开展了氦气调查评价,自然资源部组织开展了“十三
五”全国氦气资源潜力评价,但未公开发布相关成果。地质
调查在汾渭盆地,郯庐断裂带周缘盆地,四川、塔里木、柴达

木盆地等中西部叠合盆地发现了丰富的氦气显示(表 1,图
2),综合认为我国含氦气藏分布广泛,层位多,潜力大,具有
良好资源前景。

表 1 我国主要氦气发现统计表

盆地/地区	载体类型	产气层	氦气含量(%)	类型	地质背景特征
松辽	天然气	中生界	0.1~0.4 最高 2.1	深大断裂周缘型	周围分布火山岩;氦气与二氧化碳生成关系密切,二氧化碳生成在喜马拉雅期
苏北	二氧化碳、氦气	新生界	0.08~1.34	深大断裂周缘型	靠近郯庐断裂;燕山期、喜马拉雅期岩浆活动强烈;形成幔源二氧化碳气藏
海拉尔	天然气	中、新生界	0.003~0.198	深大断裂周缘型	均分布于深大断裂、燕山期花岗岩侵入体附近
渤海湾	天然气	新生界	最高 3.08	深大断裂周缘型	控制气藏形成的高青断层自中生代以来持续活动,深大断裂是其主要控制因素;与岩浆活动密切相关
安徽无为	天然气	中生界	0.29~0.37	深大断裂周缘型	受郯庐断裂和花岗岩控制
渭河	地热水	新生界	最高 9	陆内裂谷型	盆地南部靠近秦岭,大面积分布燕山期花岗岩;盆地内有深大断裂
晋中	地热水	古生界	最高 18	陆内裂谷型	富铀钍铝土岩广泛发育
银额	天然气	古生界	0.03~0.13	陆内裂谷型	区内花岗岩发育,断裂发育
四川	天然气	震旦系	0.2 左右	克拉通边缘型	发育在前震旦纪花岗岩之上;储层富铀,断层、裂隙发育
柴达木	天然气	中、新生界	0.21~0.72	克拉通边缘型	花岗质基底及基岩气藏;断裂发育
塔里木	天然气	古、中生界	0.05~2.19	克拉通边缘型	二叠纪火山活动提供了氦源;有深大断裂
民和	地热水	中生界	0.77~1.46	克拉通边缘型	存在花岗岩基底和泥页岩,断裂发育
宜昌	页岩气	古生界	0.11~0.31	克拉通边缘型	受晋宁期黄陵花岗岩和寒武系富铀黑色页岩共同控制
黔南	页岩气	古生界	0.22	克拉通边缘型	发育花岗岩基底和泥页岩

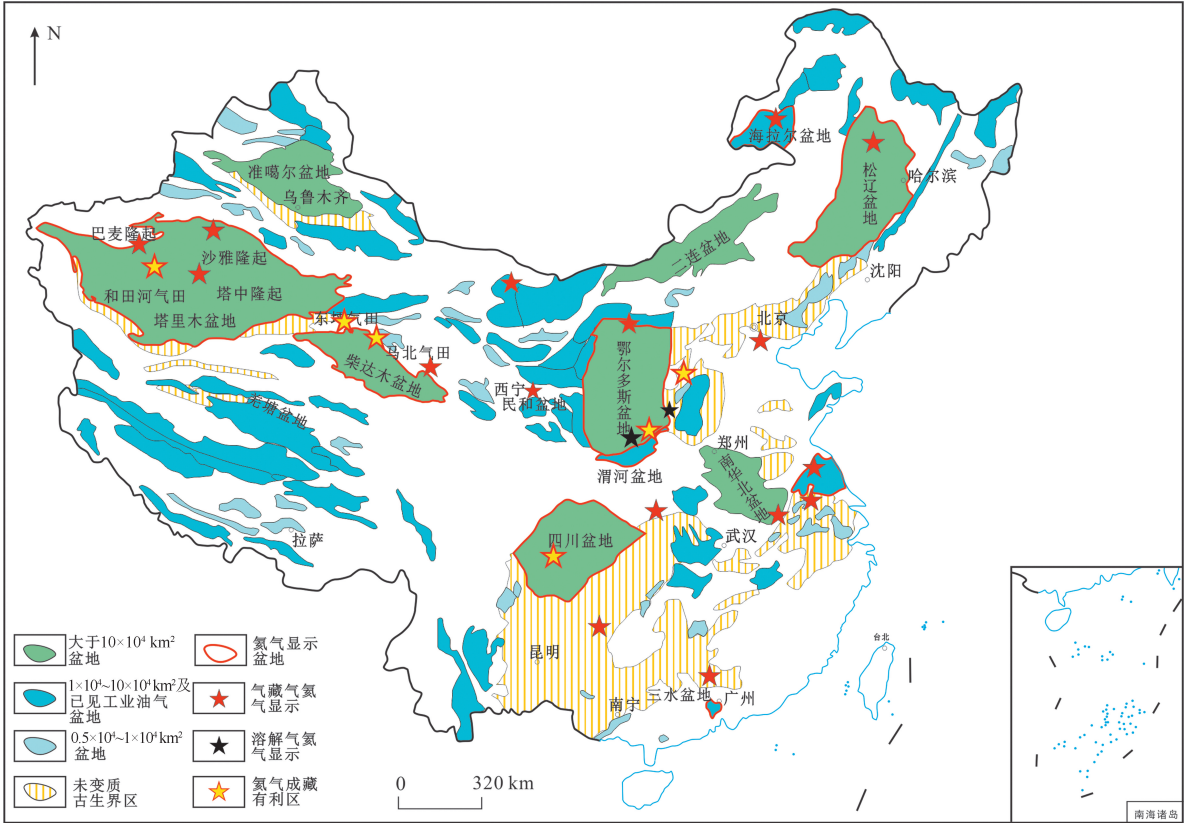


图 2 我国氦气发现分布示意图(据李玉宏等,2018 修改)

气藏气氦气显示—天然气井氦含量大于工业标准;溶解气氦气显示—地热井井口气氦含量大于工业标准

2.1 中、西部叠合盆地氦气调查进展(克拉通边缘型)

中、西部大型叠合盆地是我国氦气找矿的最有利地区，

也是未来开展氦气资源调查评价的重点,目前已经发现多处
氦气找矿线索,氦气勘探前景广阔。同时,一些中小型盆地

也有氦气显示。

2.1.1 四川盆地

四川盆地威远气田是我国首个实现氦气商业化利用的气田,氦气含量一般在 0.2% 左右,最高 0.342%,主要赋存层位为震旦系。威远地区基底为富含铀钍元素的前震旦纪花岗岩,具备良好生氦条件,威远构造为一巨型穹隆背斜,沟通基底的断裂和裂缝是氦气的高效运移通道,背斜的存在有利于氦气从水溶态进入气相,并在背斜高部位圈闭富集。该气田由于开发时间早、开采方式不当等原因于 2004 年停产。经过治理及技术攻关,2012 年恢复生产,但氦气产能规模小,亟需寻找接续资源。

2.1.2 塔里木盆地

塔里木盆地数个气田中发现了具有工业利用价值的氦气。目前公开报道具有工业价值(氦气含量 $>0.05\%$)的天然气井 17 口,其中含量大于 0.1% 的 11 口,最高(沙 13 井)氦气含量达到 2.19%。已发现的富氦天然气井分别位于 8 个气田,主要集中于塔北沙雅隆起,巴楚隆起和塔中隆起周围(陶小晚等,2019)。位于塔里木盆地巴楚隆起南缘玛扎塔格构造带的和田河气田是目前发现的我国首个大型富氦天然气藏,气藏主力储层为石炭系生屑灰岩段及奥陶系潜山两套碳酸盐岩储层,玛扎塔格断裂是深部氦气运移的重要通道。

2.1.3 柴达木盆地

柴达木盆地西缘东坪气田和北缘马北气田发现大于工业标准的富氦天然气藏。其中东坪气田氦含量 0.08%~0.48%,马北气田氦气含量介于 0.06%~0.20%,均达到工业利用标准,其氦气富集的主要因素有广泛分布的花岗岩岩体、发育的断裂及地下水系统等(张云鹏等,2016;杨振宁等,2018;韩伟等,2020)。其中花岗岩岩体提供充足的氦气气源,断裂及地下水系统提供良好的天然气运移通道及运移载体。中国地质科学院地质力学研究所在柴达木盆地东缘实施的 QDC1 井、CHY2 井中石炭系发现富氦天然气,氦气含量 0.575%~1.034%,具有勘探前景,形成机理值得进一步深入研究(内部资料)。

2.1.4 鄂尔多斯盆地

鄂尔多斯盆地是目前国内最大的天然气生产基地,由于盆地主体稳定性良好,深部氦运移通道缺乏,盆地氦气含量稳定,一般为 0.03%~0.05%,属正常的贫氦天然气藏。盆地北缘构造活动性增强,少数气田氦气含量达到 0.1% 以上,成因与深部花岗岩体和断裂通道密切相关(何发岐等,2022)。虽然整体上未发现高含氦天然气田,但 LNG 尾气提氦开拓了贫氦天然气的有效利用途径,目前宁夏盐池等地已经建成了 LNG 尾气提氦工厂,并进入试运营阶段,多个 LNG 尾气提氦厂正在建设,前景良好。

2.1.5 河西走廊盆地

河西走廊地区民和盆地发现了含量为 0.77%~1.5% 的氦气资源(柳永刚等,2020),储气层位为中—新生界。民和盆地基底发育含 U、Th 的酸性花岗岩,中侏罗统的烃源岩也

是重要的氦源岩,富集成藏受地热、烃源岩、断裂等多重因素控制。

2.1.6 古隆起周缘残留盆地

中国地质调查局武汉地质调查中心在湖北宜昌黄陵隆起周缘斜坡区实施的 EYY1 井、EYY2 井钻获含氦页岩气,氦气含量为 0.11%~0.31%,含气层位为寒武系、志留系。氦气成因主要受晋宁期黄陵花岗岩和寒武系富铀黑色页岩共同控制。中国地质调查局岩溶地质研究所在雪峰古隆起西南缘实施的 GDD1 井获得富氦页岩气显示,氦气含量 0.22%,含气层位为寒武系,主要以花岗岩和黑色页岩为氦源岩。

2.2 郯庐断裂带周缘氦气调查进展(深大断裂周缘型)

在东部郯庐断裂带两侧含油气盆地中,发现了多个氦气含量达到或接近工业标准的油气藏和非烃气藏,包括含氦气的二氧化碳气藏和氮气藏等。郯庐断裂带是我国东部一条深大断裂带,延伸长度超过 2400 km,两侧分布着一系列大型含油气盆地,如松辽盆地、渤海湾盆地、苏北盆地等,是我国重要的油气富集带和油气生产区;同时,在该带也发现了多个非烃气藏,氦气含量较高,部分达到或超过工业利用标准(杨方之等,1991;张雪等,2018;陈践发等,2021)。

2.2.1 下扬子苏北盆地、无为盆地

下扬子苏北盆地发现了多个含氦气的油气藏和非烃气藏,其中黄桥深层含氦二氧化碳气田主要产层为二叠系栖霞组 and 泥盆系五通组,埋藏深度达 1800~2300 m,氦气含量为 0.01%~0.23%。浅层溪桥气田是以氮气为主、甲烷与二氧化碳气为辅的混合气田,产层为新近系盐城组,埋藏深度 500 m,氦气含量为 56%,氮气含量 0.48%~1.34%(杨方之等,1991;徐永昌等,1996;叶先涛,2003)。溪桥气田也是我国为数不多的探明氦气储量气田,探明含气面积 0.524 km²,落实氦气储量 12.77 $\times 10^4$ m³。中国地质调查局南京地质调查中心在安徽无为盆地实施的 WWY1 井获得含氦含水气层,氦气含量 0.29%~0.37%,含气层位为三叠系,受花岗岩体和局部断裂共同影响(内部资料)。

2.2.2 渤海湾盆地

渤海湾盆地济阳拗陷花沟地区新近系明化镇组既有烃类气藏和高纯度的二氧化碳气藏,又有富含氦气的非烃气藏。其中,花 501 井气藏氦气含量达 2.08%~3.08%(车燕等,2001),远高于工业标准。大港油田通过 54 口井资料分析,氦气含量达到天然气氦气工业标准(0.1%)的共 37 口,氦气含量达到富氦标准(0.7%)的 19 口,大部分氦气含量在 1%~1.3% 之间。

2.2.3 松辽盆地

松辽盆地北部 30 多口油气勘探井的分析显示,其氦气含量为 0.102%~0.404%,个别井中氦气含量高,如汪 9-12 井氦气含量达 2.104%。中国地质调查局沈阳地调中心在松辽盆地周缘地区部署实施的油气调查井的白垩系姚家组取得多处氦气发现。GD1 井氦含量 0.84%,HFD1 井氦含量 0.5%,JBD1 井氦含量 0.5%,显示了松辽盆地良好氦气勘探

前景。

2.3 汾渭盆地氦气调查进展(陆内裂谷型)

中国地质调查局西安地调中心重点对渭河盆地进行了氦气资源调查评价。发现渭河盆地新生界地热井中伴生气显示十分普遍,76 口井中氦含量大于 1% 的 37 口,大于 2% 的 16 口,大于 3% 的 9 口,最高 9.226%,居世界前列(李玉宏等,2015,2016;张文等,2018)。渭河盆地南缘及基底广泛分布的富铀、钍花岗岩,放射性衰变及地幔上隆区为氦气提供了重要来源。古老华北克拉通基底蕴藏的巨量氦因渭河裂陷的破坏作用而释放、运移到浅层促进了区内氦气聚集成藏。2018 年陕西省自然资源厅在华阴—潼关氦气远景区内,设立了“陕西省渭南市华州—华阴地区地热水及氦气普查”探矿权,这是我国首个氦气探矿权,对于国内氦气勘探开发具有里程碑式意义(李玉宏等,2018)。

山西省第三地质工程勘察院近期对山西省内地热井含氦量进行了系统采样分析,发现有多口地热井氦气含量大于工业品位。其中晋中盆地的“晋热 1 号井”氦气含量高达 8.50%~18.86%,平均为 13.40%,氦气含量为全国最高,世界罕见。随后在“晋热 1 号井”东部又发现了 3 口地热井氦气含量为 10.06%~15.72%(李济远等,2022)。这显示山西省晋中盆地具有良好氦气资源前景。

2.4 氦气资源评价进展

氦气的赋存形式主要有三种:作为油气伴生气聚集于油气藏中、作为非烃伴生气聚集于非烃气藏中和以水溶气存在于地热流体中。不同赋存形式的氦气,其资源评价采用不同的方法。目前一般采用两种方法——体积丰度法和成因法。

体积丰度法需先获得含氦天然气藏/非烃气藏的资源量,再根据氦气在气藏中的体积分数计算氦气资源量。同理,地热水中氦气资源量的计算,根据盆地现存地热流体的资源量、气水比、氦气体积分数估算盆地内氦气资源量。陶小晚等(2019)用体积丰度法对和田河气田氦气资源量进行了评价,认为和田河不同气藏氦气总探明储量达 $1.9591 \times 10^8 \text{ m}^3$,达到特大型富氦气田。张文等(2018)用体积丰度法对渭河盆地地热水氦气资源量进行了评价。渭河盆地含氦地热水总静储量达 $1.42 \times 10^{12} \text{ m}^3$,按照气水比 1:10,气体氦含量以 1.5% 计,评价渭河盆地 4000 m 以浅水溶氦气资源量为 $21.30 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。调查研究表明渭河盆地还存在便于利用的游离态富氦天然气藏,资源潜力大。

成因法是按照氦气的成因机理,通过氮源岩生氦量、排氦量的计算,最终估算出氦气聚集总量的一种地球化学方法。根据放射性衰变原理,通过对有效氮源岩的体积、岩石密度、铀钍含量、放射性衰变时间等进行测定和合理估算,计算出盆地内氦气的生成量,结合排氦、运聚系数等关键参数,估算盆地内氦气资源量。李玉宏等(2018)运用成因法对渭河盆地氦气资源量进行了评价,得出盆地内有效排氦量为 $33.82 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

3 我国氦气调查评价工作建议

针对我国氦气需求持续增长,对外依存度居高不下,国

际氦气市场供需矛盾加剧的现状,为推动构建国内大循环的新发展格局、保障国家资源安全,需要加大对氦气调查评价支持力度,加强专业调查队伍和准备建设,开展全国氦气资源调查与资源潜力评价,形成适用于我国的氦气调查理论和技术方法,摸清资源家底,夯实资源基础。加强政策研究,促进出台相关激励、补贴等扶持政策,推动建立完备的氦气产业体系。

在资源潜力评价方面,全面梳理国内不同类型氦气成藏条件、控制因素和成藏机理,建立氦气资源潜力评价方法体系。充分重视氦气成藏区别于油气成藏的特殊性,充分借鉴国外先进方法技术,以成因法为主分区、分盆地、分类型开展全国氦气资源潜力评价,圈定氦气成藏远景区、有利区,明确我国氦气资源前景。

在调查评价方面,一是加强对现有天然气田含氦性的系统测试分析,发现富氦天然气藏,特别是古老隆起周缘地区的克拉通边缘型气藏,明确富氦层位和区域,加快推动氦气产能建设。二是开展公益性氦气调查评价,重点在汾渭盆地、四川盆地周缘、郯庐断裂带周缘等重点地区开展氦气、天然气和地热水综合调查,力争发现若干小型富氦天然气田、页岩气田或煤层气田,开展氦气开发利用示范。三是开展氦气开发利用示范,研制高效的天然气藏、地热水藏氦气分离装备和提纯利用装备,在已发现的富氦气藏中开展提氦利用、形成有效产能。

在产业政策方面,一是加大氦气调查评价财政支持力度,开展公益性调查评价工作。二是加强氦气矿权储备和出让工作,建立氦气勘查市场,推动更多市场主体进入氦气勘查开采行业。三是研究出台减免税费和开发利用补贴等制度,促进氦气勘查开采产业健康、快速发展。

4 结论

(1)氦气是典型的弱源气,有效氮源、高效运移通道(断裂、不整合)和适度的载体气藏是氦气富集成藏的基本条件。目前已在全国不同盆地和地区取得众多氦气发现点,分布区域广、赋存层位多、氦气品位高。部分地区开展的氦气资源潜力评价表明,我国氦气资源潜力大、前景好。

(2)根据不同的成矿地质背景可以将我国氦气藏分为克拉通边缘型、陆内裂谷型和深大断裂周缘型三种类型。

(3)建议开展我国氦气资源调查评价和重点地区勘查利用示范,推动建设独立自主的氦气工业体系,保障国家资源安全。

致谢:感谢两位匿名审稿人提出的宝贵修改意见。

主要参考文献

车燕,姜慧超,穆星,李军亮. 2001. 花沟气田气藏类型及成藏规律. 油气地质与采收率, 8(5): 32~34.
陈践发,刘凯旋,董勃伟,汪华,罗冰,戴鑫. 2021. 天然气中氮资源研究现状及我国氮资源前景. 天然气地球科学, 32(10): 1436~1449.
韩伟,刘文进,李玉宏,周俊林,张文,张云鹏,陈晓宏,黄斌. 2020. 柴达木盆地北缘稀有气体同位素特征及氦气富集主控因

素. 天然气地球科学, 31(3): 385~392.

何发岐, 王付斌, 王杰, 邹彦荣, 安川, 周小勇, 马亮帮, 赵永强, 张瑾, 刘棣民. 2022. 鄂尔多斯盆地东胜气田氦气分布规律及特大型富氦气田的发现. 石油实验地质, 44(1): 1~10.

贾凌霄, 马冰, 王欢, 于洋, 徐佳佳, 陈静, 邢佳韵. 2022. 全球氦气勘探开发进展与利用现状. 中国地质, 5(26): 1~16.

李济远, 李玉宏, 胡少华, 周俊林, 陈高潮, 张尚清. 2022. “山西式”氦气成藏模式及其意义. 西安科技大学学报, 42(3): 529~536.

李玉宏, 王行运, 韩伟. 2015. 渭河盆地氦气资源远景调查进展与成果. 中国地质调查, 2(6): 1~6.

李玉宏, 王行运, 韩伟. 2016. 陕西渭河盆地氦气资源赋存状态及其意义. 地质通报, 35(Z1): 372~378.

李玉宏, 张文, 王利, 赵峰华, 韩伟, 陈高潮. 2017a. 亨利定律与壳源氦气弱源成藏——以渭河盆地为例. 天然气地球科学, 28(4): 495~501.

李玉宏, 张文, 王利, 赵峰华, 韩伟, 陈高潮. 2017b. 壳源氦气成藏问题及成藏模式. 西安科技大学学报, 37(4): 565~572.

李玉宏等. 2018. 渭河盆地氦气成藏条件及资源前景. 北京: 地质出版社.

李玉宏, 李济远, 周俊林, 赵峰华, 徐聘. 2022a. 氦气资源评价相关问题认识与进展. 地球科学与环境学报, 44(3): 363~373.

李玉宏等. 2022b. 渭河盆地氦气成藏条件及资源前景(修订版). 北京: 地质出版社.

柳永刚, 张翔, 刘子锐, 杨涛, 宫振奇. 2020. 甘肃省首个高品位氦气盆地的发现及勘探前景. 甘肃地质, 29(3-4): 29~36.

蒙炳坤, 周世新, 李靖, 孙泽祥. 2021. 上扬子地区不同类型岩石生氢潜力评价及泥页岩氦气开采条件理论计算. 矿物岩石, 41(4): 102~113.

秦胜飞, 李济远. 2021. 氦气到底有什么用? 石油知识, (4): 44~45.

陶小晚, 李建忠, 赵力彬, 李立武. 2019. 我国氦气资源现状及首个特大型富氦储量的发现: 和田河气田. 地球科学, 44(3): 1024~1041.

徐永昌, 沈平, 刘文汇, 陶明信. 1996. 东部油气区天然气中幔源挥发份的地球化学——Ⅱ. 幔源挥发份中的氢、氩及碳化合物. 中国科学(D辑: 地球科学), (2): 187~192.

杨方之, 王金渝. 1991. 苏北黄桥地区上第三系富氦天然气成因探讨. 石油与天然气地质, 12(3): 340~345.

杨振宁, 李永红, 刘文进, 王伟超, 李清海, 李潇. 2018. 柴达木盆地北缘全吉山地区氦气形成地质条件及资源远景分析. 中国煤炭地质, 30(6): 64~70.

叶先涛. 2003. 江苏溪桥地区氦气藏天然气富集规律及资源前景. 江苏地质, 27(4): 207~210.

张文, 李玉宏, 王利, 赵峰华, 韩伟, 宋昌贵. 2018. 渭河盆地氦气成藏条件分析及资源量预测. 天然气地球科学, 29(2): 236~244.

张云鹏, 李玉宏, 卢进才, 李永红, 宋博, 郭望. 2016. 柴达木盆地北缘富氦天然气的发现——兼议成藏地质条件. 地质通报, 35(Z1): 364~371.

张晓宝, 周飞, 曹占元, 梁明亮. 2020. 柴达木盆地东坪氦工业气田发现及氦气来源和勘探前景. 天然气地球科学, 31(11): 1585~1592.

张雪, 刘建朝, 李荣西, 翁凯. 2018. 中国富氦天然气资源研究现状与进展. 地质通报, 37(2-3): 476~486.

Brown A A. 2010. Formation of high helium gases: A guide for explorationists. New Orleans, Louisiana, 2010. AAPG Convention.

Danabalan D, Gluyas J G, Macpherson C G, Abraham-James T H, Bluett J J, Barry P H, Ballentine C J. 2022. The principles of helium exploration. Petroleum Geoscience, 28(2): 1~13.

Sathaye K J, Larson T E, Hesse M A. 2016a. Noble gas fractionation during subsurface gas migration. Earth and Planetary Science Letters, 450: 1~9.

Sathaye K J, Smye A J, Jordan J S, Hesse M A. 2016b. Noble gases preserve history of retentive continental crust in the Bravo Dome natural CO₂ field, New Mexico. Earth & Planetary Science Letters, 443: 32~40.

XU Guang, LI Yuhong, WANG Zongqi, YOU Long: Progress of investigation and evaluation of helium resources in China