

DOI:10.19751/j.cnki.61-1149/p.2022.03.018

国内外氦气资源勘探开发现状及其对中国的启示

李玉宏^{1,2}, 李济远², 周俊林^{1,*}, 吕鹏瑞¹, 张强³, 张宇轩¹, 贺政阳¹

(1. 中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054; 2. 中国矿业大学(北京)地球科学与测绘工程学院, 北京 100083; 3. 北京中科富海低温科技有限公司, 北京 100086)

摘要:氦气是军事工业和高新技术产业发展不可或缺的稀有战略资源,但世界氦气资源分布极不均衡,供需矛盾突出,供给安全备受关注。特别是中国氦气供应长期依赖进口,资源调查评价与提氦利用技术研发起步较晚,资源安全形势严峻。笔者通过文献和市场调研对目前世界各国氦气资源勘探与提纯技术的进展进行了梳理,归纳了中国氦气勘查、开发现状,根据中国氦气资源总体需求提出“十四五”末氦气勘查利用须实现的基本目标和相关建议。研究表明,近年来世界氦气储量有所增加,年度产量基本稳定;中国氦气提纯利用技术和产能建设快速发展,特别是LNG-BOG提氦等低品位氦资源提取利用迅猛发展,氦气保障能力逐步加强,建议按照“用旧、找新、合作、储备”的思路,进一步加强氦气资源调查评价与提氦产能建设,分阶段实现中国氦气资源安全保障。

关键词:氦气;勘探开发;LNG-BOG提氦;提氦工厂

中图分类号:P618.13 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-6248(2022)03-0233-08

Exploration and Development Status of World Helium Resources and Its Implications for China

LI Yuhong^{1,2}, LI Jiyuan², ZHOU Junlin^{1,*}, LÜ Pengrui¹, ZHANG Qiang³,
ZHANG Yuxuan¹, HE Zhengyang¹

(1. Xi'an Geological Survey of China Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 2. College of Geoscience and Surveying Engineering, China University of Mining & Technology (Beijing), Beijing 100083, China; 3. Beijing Sinoscience Fullcryo Technology Co. Ltd, Beijing 100086, China)

Abstract: Helium is an indispensable and rare strategic resource for the development of the military industry and high-tech industry. However, the global distribution of helium resources is extremely uneven, the contradiction between supply and demand is prominent, and supply security has received continuous attention. In particular, China's helium supply has been dependent on imports for a long time, the resource investigation and evaluation and the research and development of helium extraction and utilization technologies started late, and the resource security situation is grim. In this paper, the progress of helium exploration and purification technology in the world are combed and the current situation of helium exploration and development in China are

收稿日期:2022-03-19;修回日期:2022-05-27;网络发表日期:2022-08-15;责任编辑:贾晓丹

基金项目:国家重点研发计划“富氢天然气成藏机制及氢资源分布预测技术-复杂地质介质中氢气运聚及富氢气藏封盖机制研究”(2021YFA0719003)、中国地质调查局项目“全国氦气资源潜力评价与战略选区调查”(DD20221665)联合资助。

作者简介:李玉宏(1968-),男,博士,正高级工程师,主要从事油气及非常规能源地质调查工作。E-mail:L1763@tom.com。

* 通讯作者:周俊林(1986-),男,硕士,工程师,长期从事氦气成藏研究。E-mail:zjunlin@mail.cgs.gov.cn。

summarized by literature and market research. According to the overall demand of helium resources in China, the basic goals and suggestions for helium exploration and utilization at the end of the “14th Five-year Plan” period are put forward. The results show that the global helium reserves have increased in recent years and the annual production is basically stable. China’s helium purification and utilization technology and capacity construction are developing rapidly, especially the rapid development of extraction and utilization of low-grade helium resources such as LNG – BOG helium extraction, and the gradual strengthening of helium support capacity. It is recommended to further strengthen the investigation and evaluation of helium resources and the construction of helium production capacity in accordance with the idea of “using discovered resources, finding new resources, conducting trade cooperation and establishing helium reserves”, so as to realize the security of helium resources in stages.

Keywords: Helium; exploration and development; LNG – BOG helium extraction; helium extraction plant

氦气是重要的稀有战略资源,根据中国国民经济和社会发展“十四五”规划和 2035 年远景目标纲要,中国将在提升科技创新能力、深入实施制造强国战略、发展壮大战略新兴产业、加强国家安全体系和能力建设、加快国防和军队现代化和实施能源资源安全战略方面持续发力。这些领域目标的实现离不开氦气资源的保障和供应。为保障国家氦气资源安全,近年来,中国氦气资源评价和利用工作加速展开。伴随着氦气利用领域的扩展和价格的坚挺,全球氦气资源勘查利用也在不断升温。通过对目前国内外氦气资源评价与利用现状进行调研、梳理和总结,针对中国氦气资源调查提出几点建议,供相关研究人员参考。

1 氦气资源禀赋及其工业生产现状

1.1 世界氦气资源量、储量

世界氦气资源储量与产量短缺且分布相对集中,主要分布在美国、卡塔尔、阿尔及利亚、俄罗斯等国。截至 2021 年,世界氦气资源量为 $48\,400\times10^6\text{ m}^3$ 。其中,美国为 $17\,100\times10^6\text{ m}^3$,占全世界氦资源量的 35%;其他主要国家资源量依次为卡塔尔($10\,100\times10^6\text{ m}^3$)、阿尔及利亚($8\,200\times10^6\text{ m}^3$)、俄罗斯($6\,800\times10^6\text{ m}^3$)、加拿大($2\,000\times10^6\text{ m}^3$)、中国($1\,100\times10^6\text{ m}^3$)、波兰($300\times10^6\text{ m}^3$),其他国家($2\,800\times10^6\text{ m}^3$)(表 1)。世界氦气储量为 $12\,100\times10^6\text{ m}^3$,其中美国为 $8\,590\times10^6\text{ m}^3$,占全世界氦资源量的 71%;其他主要国家资源量依次为阿尔及利亚($1\,800\times10^6\text{ m}^3$)、俄罗斯($1\,700\times10^6\text{ m}^3$)、波兰

($24\times10^6\text{ m}^3$)(Yakutseni,2014; USGS,2022)。总体来说,美国氦气资源储量和产量均占有绝对优势,资源量虽然较之前有所下降,但储量有所增长。

1.2 国外氦气勘探开发与提纯利用现状

近年来,由于国际氦气市场反复出现供应短缺,国外氦气勘探开始升温,多家公司在美国西南部、加拿大萨斯喀彻温省和阿尔伯塔省、坦桑尼亚、澳大利亚和南非等地从事氦勘探,许多油气公司也成立了氦勘探公司或开展氦勘探与提纯业务(贾凌霄等,2022)。

第一氦气公司(Helium One)在坦桑尼亚大裂谷地区发现的非伴生氦气资源的甜点储区,拥有 26 个氦气勘探许可证,鲁克瓦(Rukwa)盆地的预期(最大)可采氦气资源量约为 $3\,908\times10^6\text{ m}^3$,可以供应目前世界 14 年的消费量。盆地内 2 口勘探井(Tai 1 和 Tai 2)已于 2021 年 8 月完工,证实存在盖层和储层,储层含有储量可观的氦气资源(Danabalan et al.,2022)。

俄罗斯阿穆尔天然气处理厂(GPP)氦气生产能力也在逐渐提高,并与世界最大氦气集装箱服务物流枢纽同步启用。计划共分 3 期,至 2025 年建成 $60\times10^6\text{ m}^3/\text{a}$ 的世界第一大氦气处理厂(表 2)。一期装置已投产,可年产 99.9995%级别商品氦气 $20\times10^6\text{ m}^3$ (贾凌霄等,2022)。

卡塔尔天然气公司(Qatar Gas)是卡塔尔氦气生产、储存和装载设施的运营商。卡塔尔天然气公司在该地区经营氦气-1 和氦气-2 工厂,这两家工厂的年产能合计为 $62\times10^6\text{ m}^3$ 。随着氦气-3 工厂的投产,卡塔尔天然气公司的氦气产量约占世界氦气总产量的 35%,年总产能为 $74\times10^6\text{ m}^3$ (Quader,2020)。

表 1 世界氦气产量、储量和资源量构成数据表
Tab.1 World helium production, reserves and resources composition

国家	年 产 量(10^6 m^3)							储量	资源量
	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年* *	1991~2021 年合计	(10^6 m^3)	
美国	生产	63	63	64	68	71	2 607	8 500	
	动用储备	23	28	26	21	7	808	86	
	小计	86	91	90	89	77	3 338	8 590	17 100
阿尔及利亚		10	14	14	14	14	397	1 800	8 200
卡塔尔		50	45	45	45	51	481	大量	10 100
俄罗斯		3	3	3	5	5	138	1 700	6 800
波兰		2	2	2	1	1	56.4	24	—
澳大利亚		4	4	4	4	4	43	—	—
加拿大		<1	<1	<1	<1	<1		—	2 000
中国		—	—	—	1	1	2	—	1 100
其他国家		—	—	—	—		—	—	3 100
合计		155	159	158	158	157	4 375	>12 100	48 400

注:数据来源于 USGS,2022;* *代表预测数。

表 2 全球 2020~2025 年部分计划新建提氦厂统计表(据 Quader,2020 修改)
Tab.2 New helium extraction factories scheduled for 2020~2025 worldwide

所有者或运营者	位置	计划投产年度	产品	年产能(10^6 m^3)
俄罗斯天然气工业股份公司	阿穆尔 1,俄罗斯	2021	纯氦	20
俄罗斯天然气工业股份公司	阿穆尔 2,俄罗斯	2022	纯氦	20
俄罗斯天然气工业股份公司	阿穆尔 3,俄罗斯	2024	纯氦	20
伊尔库茨克石油	伊尔库茨克州,俄罗斯	2021	纯氦	7
卡塔尔天然气公司	氦气-3,卡塔尔	2020	纯氦	12
北美氦	萨斯喀彻温省(3 个厂),加拿大	2020/2021	纯氦	—
第一氦气公司(Helium One)	鲁克瓦,坦桑尼亚	—	纯氦	—
IACX 能源	犹他州,美国	2020	纯氦	—

目前,富氦天然气和液化天然气(LNG)尾气(BOG)提氦是工业氦气生产的两大主要来源。深冷法目前是氦气主要提纯途径,天然气中氦含量(体积分数,下同)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。其中,美国氦气生产原料主要为富氦天然气,卡塔尔则为 LNG-BOG 提氦。卡塔尔天然气含氦仅 0.04%左右,远低于氦气工业标准,但其氦资源量达 $10\ 100\times 10^6\text{ m}^3$,且通过 LNG-BOG 提氦成为世界第二大产氦国(秦胜飞等,2021)。商业氦气主要掌握在法国液空、德国林德及美国的空气、普利森等国外氦气产业公司手中。近年来研发了例如多级变压吸附(PSA)、多级膜、膜法+PSA 等提纯工艺(张哲等,2022)。

30 年来,世界实际氦气产量总体稳步增长,近

10 年呈震荡下降状态。据美国地质调查局不完全统计(USGS,2022),2020 年全球氦气供应量为 $159\times 10^6\text{ m}^3$,其中美国氦气产量(含储备投放)约 $83\times 10^6\text{ m}^3$,占世界产量的 52%;其他主要国家产量依次为卡塔尔($51\times 10^6\text{ m}^3$),阿尔及利亚($14\times 10^6\text{ m}^3$),俄罗斯($5\times 10^6\text{ m}^3$),澳大利亚($4\times 10^6\text{ m}^3$),波兰($1\times 10^6\text{ m}^3$),中国($1\times 10^6\text{ m}^3$)(图 1)。

2 中国氦气资源勘探开发现状

2.1 国内氦气资源调查现状

近年来,国内氦气研究、调查工作迅速展开,形成了新一轮“氦气热”,多项国家氦气研究项目启动,地质调查机构、油气公司、科研院所积极开展氦气调

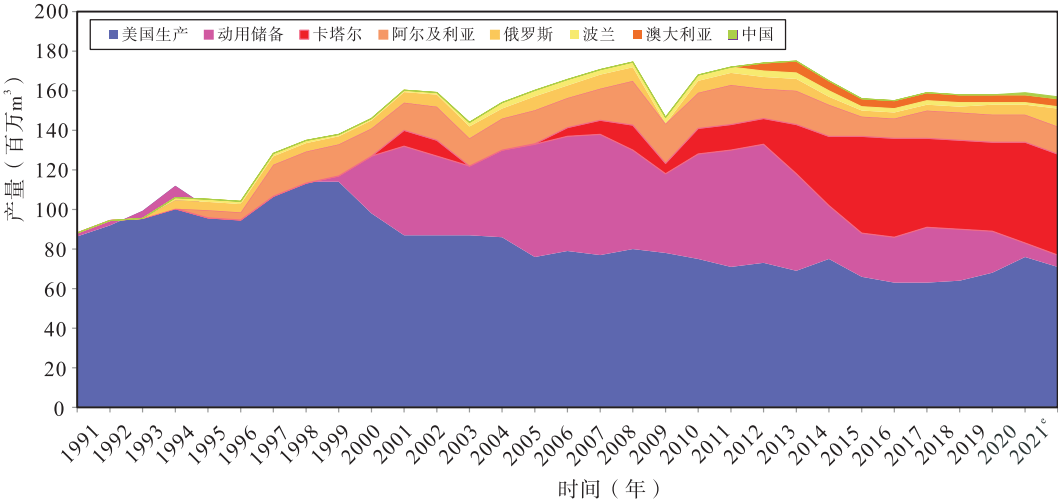


图 1 世界氦气产量构成图

Fig. 1 World helium production composition

查评价工作，山西省首口氦气参数井正在钻探。2012 年以来，中国地质调查局持续开展了氦气资源调查探索，取得系列成果。

2.1.1 中国西部大型盆地和东部郯庐断裂带周缘具有氦气成藏地质条件

通过调研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等，认识到壳源氦气主要富集于克拉通内隆起和克拉通边缘活化带，陆内裂谷盆地是目前的勘探热点。富氦气藏形成的基础是具备富铀、钍矿物的花岗质基底，稳定的克拉通边缘或内部相对活跃的隆起带和裂谷带是富氦天然气富集的有利构造位置；断层和孔隙是氦气运移的主要通道，烃类气、氦气、二氧化碳等载体气是形成富氦天然气藏的必要条件，保存条件是天然气中氦气积累富集的重要控制因素(李玉宏等,2018,2022)。

中国西部地区发育多个大型克拉通盆地，这些盆地边缘经历了多期构造运动，发育不同规模的基底隆起，导致了深部岩浆活动频繁，具备良好的源岩条件。这些相对稳定的活动带内形成一系列深大断裂，有利的沟通了深部源岩，同时构造活动又不过于强烈，有利于形成圈闭构造和保证良好的保存条件。通过梳理中国主要含油气盆地构造和演化特征，认为四川盆地乐山龙女寺隆起、塔里木盆地沙雅隆起、巴楚隆起、塔中隆起、柴达木盆地马海大红沟隆起、大风山隆起及鄂尔多斯盆地北部等具有良好氦气成

藏地质条件(刘全有等,2009;余琪祥等,2013;何发岐等,2022;李玉宏等,2022;秦胜飞等,2022)。

陆内裂谷型盆地是近年来氦气勘探的热点，特别是在坦桑尼亚东非大裂谷西南的鲁夸盆地发现了巨大的氦气储量。中国汾渭盆地与坦桑尼亚裂谷盆地系具有相似地质特征，氦气成藏地质条件优越。中国东部郯庐断裂带周缘发育一系列含油气盆地，由于深大断裂带沟通了深部地幔和地壳氦气源岩，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气条件。通过对东部断陷盆地氦气和油气地质条件梳理，认为松辽盆地、渤海湾盆地、苏北盆地等具有氦气成藏条件(郭念发等,1999;李玉宏等,2018;张雪等,2018)。

2.1.2 调研显示中国主要含油气盆地具有氦气资源前景

围绕全国氦气资源情况调研，综合分析，认为中国含氦天然气分布广泛，层位众多，但研究程度低，家底不清。在塔里木盆地、田河气田、阿克莫木气田、柴达木盆地东坪气田、马北气田、鄂尔多斯盆地东胜气田均发现具有工业品位的富氦天然气(余琪祥等,2013;韩伟等,2020;何发岐等,2022)。松辽盆地、渤海湾盆地和苏北盆地也发现了多个含氦烃类气藏和非烃气藏(冯子辉等,2001;付晓飞等,2005)。以上成果显示出中国西部大型叠合盆地和东部郯庐断裂带周缘盆地群具有良好氦气找矿前景。

西部大型克拉通盆地是中国氦气找矿实现突破

的关键地区,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。四川盆地威远气田是中国首个实现氦气商业化利用的气田,氦气含量一般为0.2%左右,最高为0.36%(秦胜飞等,2022),但该氦气田已开采60年,亟须寻找其他氦气资源。塔里木盆地巴楚隆起和田河气田,氦气含量为0.26%~0.53%,阿克莫木气藏氦气含量为0.17%~0.19%,显示了良好前景(陶小晚等,2019)。柴达木盆地西缘东坪气田和北缘马北气田发现高品位富氦天然气藏。其中,东坪气田氦含量为0.08%~0.48%,马北气田氦气含量为0.06%~0.20%,均达到工业利用标准(韩伟等,2020;张晓宝等,2020)。

鄂尔多斯盆地是目前国内最大的天然气生产基地,氦气含量稳定,平均含量介于0.03%~0.05%,盆地北部少数气田氦气含量达到0.1%以上(何发岐等,2022),虽然整体上未发现高含氦天然气田,但LNG尾气提氦具有较好的远景。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,可为进一步氦气综合利用提供指导。

在东部郯庐断裂带周缘含油气盆地中发现了多个含有氢烃类气藏和非烃气藏,包括含氦气的二氧化碳水藏和氦气藏等。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%,个别井中氦气含量较高,如汪9-12井氦气含量达2.10%(冯子辉等,2001)。沈阳地质调查中心发现多口白垩系姚家组氦气显示井,高地1井氦含量为0.84%,黑富地1井氦含量为0.5%,吉白地1井氦含量为0.5%,显示了松辽盆地良好的氦气勘探前景。在渤海湾盆地济阳坳陷花沟地区发现富含氦气的非烃气藏,花501井气藏氦气含量为2.08%~3.08%,远高于工业利用标准。在苏北盆地黄桥发现深层含氦二氧化碳气藏,氦气含量为0.01%~0.23%;在浅层发现富氦氦气藏,氦气含量为0.48%~1.34%(张雪等,2018;陈践发等,2021)。

综上所述,中国部分油气藏、非烃气藏天然气组分中氦气含量较高,资源潜力较大,但未给予相应的重视。因此,在开展油气勘探开发的同时,应重视和兼顾氦气藏的勘探与研究;对已经投入开发的天然气田,应开展采样分析和资源评价;在新的油气藏勘探开发过程中,应重视对天然气组分中氦气的检测分析,当氦气达到工业品位时,气田储量计算时应同

时计算伴生氦气储量;对具有商业利用价值的含氦气藏,应充分分离天然气中的氦气资源;对He含量未达到工业标准,但开展LNG的应开展尾气提氦,以提高资源的开发与综合利用效率。

2.1.3 重点评价了渭河盆地氦气资源潜力,圈定华州等3处氦气成藏远景区

渭河盆地(陕西关中地区)地热井中伴生壳源氦气显示十分普遍,统计从潼关到宝鸡77口井的气体样品中氦含量大于1%的38口,最高达9.2%,居世界前列。理论研究与调查成果表明,渭河盆地水溶氦气广泛分布,游离态富氦天然气局部富集(张文等,2018,2019),同时发现石油、烃类天然气找矿线索。渭河盆地He含量之高,国内外少见,初步选定了华阴-潼关、兴平-咸阳、周至-蓝田等3处氦气远景区(李玉宏等,2015,2018)。2016年以来,围绕华州北地区实施了一系列物、化探和综合研究工作,进一步圈定了该区有利目标区带,落实了圈闭构造特征,进一步实施钻探工程有望实现渭河盆地氦气资源调查突破。

2.1.4 创新氦气成藏理论,探索氦气调查技术方法

提出了富氦天然气弱源成藏理论,认为富U、Th花岗岩是富氦天然气藏的主要气源,花岗质碎屑岩和泥页岩是氦源岩的有利补充;氦气初次运移以扩散为主,受温度控制(Zhang et al., 2020);氦气从深部运移到孔隙水和气藏的主要通道有断层和连通孔隙、裂隙;当无游离气作为载体时,氦气主要随着孔隙、裂隙水实现运移,当游离气体通过孔隙、裂隙水时,气体优先进入气相运移(李玉宏等,2018;张文,2019;Zhang et al., 2019)。深部氦气向地壳浅部运移的驱动力是深部构造挤压与热作用,通道主要是断层和裂隙。当烃类气体作为载体时,运移的驱动力主要为势能驱动,通道主要为连通孔隙和断层。孔隙水中的氦气进入气相遵循亨利定律,由氦气在气相和液相中的分压决定气液平衡(李玉宏等,2017);富氦天然气藏中氦气积累受源岩的氦气补给通量、盖层的氦气扩散通量和氦气的积累时间共同约束。当盖层的氦扩散通量等于深部氦气补给通量时,气藏中氦气就难以富集(Brown, 2010;李玉宏等,2022)。

总结了渭河盆地找矿模型,探索了①成藏模式指引勘查方向。②重力-电法探测盆地结构(高效运移通道)。③化探圈定氦气富集区。④磁法识别基底磁性岩体(氦源岩)。⑤地震测量落实有利圈闭。

⑥气测录井标定富集层段的氦气调查技术方法(李玉宏,2015,2018)。

2.2 中国工业氦气生产现状

近年来,中国 LNG-BOG 提氦技术与产能建设飞速发展,将成为中国氦气战略资源保障的重要力量。在北京中科富海低温科技有限公司技术支撑下,内蒙古兴圣天然气有限责任公司等已建成年提氦能力为 $2.25\times10^6\text{ m}^3$ 的工厂,还有多家公司在建年提氦能力约 $2.15\times10^6\text{ m}^3$ (表 3)。此外,国有油气企业的“陕北 $5.00\times10^6\text{ m}^3$ 联产提氦项目”、“东胜-乌审旗 $1.00\times10^6\text{ m}^3$ 膜法+变温吸附提氦项目”正在推进,陕北多个新建 LNG-BOG 提氦装置正在规划。

表 3 国内主要 BOG 提氦企业情况表
Tab. 3 Major BOG purification helium companies in China

序号	所在地区	年提氦能力 (10^6 m^3)	状态	提氦方法
1	杭锦旗	1.00	投产	低温深冷
2	杭锦旗	0.40	投产	低温深冷
3	盐池	0.15	投产	低温深冷
4	榆林	0.15	投产	膜法
5	庆阳	0.15	投产	膜法
6	盐池	0.15	投产	膜法
7	鄂尔多斯	0.15	投产	膜法
8	鄂尔多斯	0.10	投产	膜法
9	榆林	0.30	在建	膜法
10	重庆	0.15	在建	膜法
11	重庆	0.20	在建	低温深冷
12	延安	0.25	在建	低温深冷
13	延安	0.15	在建	低温深冷
14	乌兰察布	0.25	在建	低温深冷
15	鄂尔多斯	0.55	在建	低温深冷
16	鄂尔多斯	0.20	在建	低温深冷
17	包头	0.10	在建	低温深冷
合计		4.40		

富氦天然气提氦方面,2012 年建成荣县天然气提氦装置,设计处理天然气 $0.40\times10^6\text{ m}^3/\text{d}$,氦含量为 0.18%,氦生产能力约 $0.21\times10^6\text{ m}^3/\text{a}$,氦收率 $>96.5\%$,产品粗氦纯度为 $90\%\sim95\%$ 。由于产量较小、原料氦含量偏低,只生产高纯度气氦,不生产

液氦。因气田产能不断递减,原料天然气量不足,实际进装置原料天然气小于 $0.10\times10^6\text{ m}^3/\text{d}$,单位产品能耗和运行费用不断增加,生产成本较高。

据塔里木油田和成都天然气化工总厂数据,和田河气田目前天然气产量约 $1.00\times10^6\text{ m}^3/\text{d}$,平均含氦量为 0.32%,折合氦气产能约 $1.10\times10^6\text{ m}^3/\text{a}$,提氦装置设计每年可回收氦气约 $0.90\times10^6\text{ m}^3$,氦产能和氦含量均高于威远气田。

3 中国氦气资源保障需求目标及相关建议

3.1 氦气资源勘查评价利用的需求目标

氦气广泛应用于国防和高新技术领域,是重要的稀有战略资源。近年来,全球氦气年需求量约为 $220\times10^6\text{ m}^3$,但年产量不足 $170\times10^6\text{ m}^3$,供需矛盾突出,长期严重短缺。由于中国氦气资源家底不清,对外依存度高,产业链尚未建立。根据中国氦气资源总体需求,“十四五”末需实现 3 个基本目标:①建立氦气勘探、开发、利用的理论和核心装备,形成产业链。②开展分区、分类、分级评价,基本查清资源家底,为氦气产能建设提供基础。③着眼国内和国际 2 个市场,开展资源战略安全和产业政策研究,建立健全氦气资源有序勘查、积极保护、有效开发和加强储备的政策法规。

3.2 氦气资源勘查利用的几点建议

依据国家氦气资源总体需求,按照“用旧、找新、合作、储备”的思路,围绕富氦天然气($\text{He}>0.1\%$)提氦与贫氦天然气有效利用(LNG-BOG 提氦)2 种资源,立足国内基础保障能力提升与国外多元化进口保障并举,加强氦气储备库建设,分阶段实现氦资源保障安全(李玉宏等,2022)。

(1)用旧:以油气企业为主体,开展现有大中型天然气田含氦量调查,发现富氦天然气藏,直接提氦利用,快速建产形成产能;查明全国天然气田(藏)普遍含氦情况,出台富氦天然气资源保护法规,形成低含氦天然气综合利用指导意见,服务 LNG 布局与提氦装置建设,助推贫氦天然气氦气资源有效保护和利用。

(2)找新:依托汾渭盆地开展重点地区氦气资源调查示范,力争实现氦气资源调查突破,引领商业勘查利用跟进,构建中国氦气资源基地。通过勘查实

践,建立和完善氦气成藏理论、找矿模式,形成勘查技术、提取工艺等方法技术,培育核心技术队伍。在氦气成藏理论指导下,建立氦气资源评价方法体系,加强国家公益性队伍对氦气资源调查工作的组织引领;开展全国氦气资源潜力评价与战略选区,获取全国氦气资源潜力评价参数,评价全国氦气资源潜力;划分远景区,优选有利区带,实现氦气调查突破,引导以寻找富氦天然气为目标的气-氦兼探,拓展氦气资源勘查路径。

(3)合作:跟踪国外氦气资源勘探开发生态,了解国内外供需状况。围绕“一带一路”沿线国家开展氦气贸易合作和战略研究,拓展合作空间和供给渠道。开展俄乌冲突背景下全球地缘政治和国际贸易格局深刻变化的前瞻性研究,分析中国氦气资源供给未来可能存在的风险,提出氦气供应多元保障建议。

(4)储备:参照国家石油资源战略储备体系,建立中国氦资源战略储备体系,围绕氦气保存条件,开展陆域氦气储备地下空间调查评价,进行氦气储备先导试验,形成短、中、长期氦气储备战略规划,提高氦气资源保障能力与水平。

参考文献(References):

- 陈践发,刘凯旋,董勃伟,等. 天然气中氦资源研究现状及我国氦资源前景[J]. 天然气地球科学, 2021, 32(10): 1436-1449.
- CHEN Jianfa, LIU Kaixuan, DONG Qingwei, et al. Research Status of Helium Resources in Natural Gas and Prospects of Helium Resources in China[J]. Natural Gas Geoscience, 2021, 32(10): 1436-1449.
- 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(05): 27-30+10-9.
- FENG Zihui, HUO Qiuli, WANG Xue. A study of helium reservoir formation characteristic in the north part of Songliao Basin[J]. Natural Gas Industry, 2001, 21(05): 27-30+10-9.
- 付晓飞,宋岩. 松辽盆地无机成因气及气源模式[J]. 石油学报, 2005, 26(04): 23-28.
- FU Xiaofei, SONG Yan. Inorganic gas and its resource in Songliao Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2005, 26(04): 23-28.
- 郭念发,尤孝忠,徐俊. 苏北盆地溪桥含氦天然气地质特征及含氦天然气勘探前景[J]. 石油勘探与开发, 1999, 26(5): 24-26.
- GUO Nianfa, YOU Xiaozhong, XU Jun. Geological Characteristics and Exploration Prospect of Helium-Bearing Natural Gas Field in Xiqiao, Subei Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 1999, 26(5): 24-26.
- 韩伟,刘文进,李玉宏,等. 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[J]. 天然气地球科学, 2020, 31(03): 385-392.
- HAN Wei, LIU Wenjin, LI Yuhong, et al. Characteristics of Rare Gas Isotopes and Main Controlling Factors of Radon Enrichment in the Northern Margin of Qaidam Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2020, 31(03): 385-392.
- 何发岐,王付斌,王杰,等. 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[J]. 石油实验地质, 2022, 44(01): 1-10.
- HE Faqi, WANG Fubin, WANG Jie, et al. Helium Distribution of Dongsheng Gas Field in Ordos Basin and Discovery of a Super Large Helium-rich Gas Field[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2022, 44(01): 1-10.
- 贾凌霄,马冰,王欢,等. 全球氦气勘探开发进展与利用现状[J/OL]. 中国地质: 1-16 [2022-05-27]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1167.P.20220316.1137.008.html>.
- JIA Lingxiao, MA Bing, WANG Huan, et al. Global helium exploration and development progress and utilization status[J/OL]. Geology in China, 2022: 1-16 [2022-05-27]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1167.P.20220316.1137.008.html>.
- 刘全有,戴金星,金之钧,等. 塔里木盆地前陆区和台盆区天然气的地球化学特征及成因[J]. 地质学报, 2009, 83(01): 107-114.
- LIU Quanyou, DAI Jinxing, JIN Zhijun, et al. Geochemistry and Genesis of Natural Gas in the Foreland and Platform of the Tarim Basin[J]. Acta Geologica Sinica, 2009, 83(01): 107-114.
- 李玉宏,王行运,韩伟. 渭河盆地氦气资源远景调查进展与成果[J]. 中国地质调查, 2015, 2(06): 1-6.
- LI Yuhong, WANG Xingyun, HAN Wei. Progress and Achievements of Helium Gas Resources Survey in Weihe Basin[J]. Geological Survey of China, 2015, 2(06): 1-6.
- 李玉宏,王行运,韩伟. 陕西渭河盆地氦气资源赋存状态及其意义[J]. 地质通报, 2016, 35(Z1): 372-378.
- LI Yuhong, WANG Xingyun, HAN Wei. Mode of Occurrence of Helium in Weihe Basin, Shaanxi Province and its Significance[J]. Geological Bulletin of China, 2016, 35(Z1): 372-378.
- 李玉宏,张文,王利,等. 亨利定律与壳源氦气弱源成藏——以渭河盆地为例[J]. 天然气地球科学, 2017, 28(04): 495-501.
- LI Yuhong, ZHANG Wen, WANG Li, et al. Henry's Law and Accumulation of Cruise-derived Helium: A Case Form Weihe Basin, China[J]. Natural Gas Geoscience,

- 2017, 28(04): 495-501.
- 李玉宏,周俊林,张文. 渭河盆地氦气成藏条件及资源前景[M]. 北京:地质出版社,2018.
- 李玉宏,李济远,周俊林,等. 氦气资源评价相关问题认识与进展[J]. 地球科学与环境学报,2022,44(2):1-11.
- LI Yuhong, LI Jiyan, ZHOU Junlin, et al. Research progress and new views on evaluation of helium resources [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2022, 44(2): 1-11.
- 秦胜飞,李济远. 世界氦气供需现状及发展趋势[J]. 石油知识,2021,(05):44-45.
- QIN Shengfei, LI Jiyan. World helium supply and demand status and trends [J]. Petroleum Knowledge, 2021, (05): 44-45.
- 秦胜飞,李济远,梁传国,等. 中国中西部富氦气藏氦气富集机理—古老地层水脱氦富集[J/OL]. 天然气地球科学,2022: 1-17. DOI:10.11764/j. issn. 1672-1926. 2022. 03. 015
- QIN Shengfei, LI Jiyan, LIANG Chuanguo, et al. Helium enrichment mechanism of helium rich gas reservoirs in central and western China-degassing and accumulation from old formation water[J/OL]. Natural Gas Geoscience, 2022: 1-17. DOI: 10. 11764/j. issn. 1672-1926. 2022. 03. 015
- 陶小晚,李建忠,赵力彬,等. 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[J]. 地球科学,2019, 44(03):1024-1041.
- TAO Xiaowan, LI Jianzhong, ZHAO Li-bin. Helium Resources and Discovery of First Super Giant Helium Reserve in China: Hetianhe Gas Field[J]. Earth Science, 2019, 44(03): 1024-1041.
- 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(04):215-222.
- YU Qixiang, SHI Zheng, WANG Denggao, et al. Analysis on Helium Enrichment Characteristics and Reservoir Forming Conditions in Northwest Tarim Basin [J]. Northwestern Geology, 2013, 46(04): 215-222.
- 张文,李玉宏,王利,等. 渭河盆地氦气成藏条件分析及资源量预测[J]. 天然气地球科学,2018,29(02): 236-244.
- ZHANG Wen, LI Yuhong, WANG Li, et al. The Analysis of Helium Accumulation Conditions and Prediction of Helium Resource in Weihe Basin[J]. Natural Gas Geoscienc, 2018, 29(02): 236-244.
- 张文,关中和柴北缘地区战略性氦气资源成藏机理研究[D]. 北京:中国矿业大学(北京),2019.
- ZHANG Wen. Production, release and accumulation of helium, a strategic resource, in Guanzhong Basin and North Qaidam Basin[D]. Beijing: China University of Mining & Technology, 2019.
- 张雪,刘建朝,李荣西,等. 中国富氦天然气资源研究现状与进展[J]. 地质通报,2018,37(Z1):476-486.
- ZHANG Xue, LIU Jinzhao, LI Rongxi, et al. President Situation and Progress in the Study of Helium Gas Resources in China [J]. Geological Bulletin of China, 2018, 37(Z1): 476-486.
- 张晓宝,周飞,曹占元,等. 柴达木盆地东坪氦工业气田发现及氦气来源和勘探前景[J]. 天然气地球科学,2020,31(11):1585-1592.
- ZHANG Xiaobao, ZHOU Fei, CAO Zhanyuan. Finding of the Dongping Economic Helium Gas Field in the Qaidam Basin, Helium Source and Exploration Prospect [J]. Natural Gas Geoscience, 2020, 31(11): 1585-1592.
- 张哲,王春燕,王秋晨,等. 浅谈中国氦气供应链技术壁垒与发展方向[J]. 油气与新能源,2022,34(02):14-19.
- ZHANG Zhe, WANG Chunyan, WANG Qiuchen, et al. Barriers and Development Directions of Helium Supply Chain in China[J]. Petroleum and New Energy, 2022, 34(02): 14-19.
- Brown A A. Formation of High Helium Gases: A Guide for Explorationists[C]. AAPG Convention, New Orleans, Louisiana, USA, 2010.
- Danabalan D, Gluyas J G, Macpherson C G, et al. The Principles of Helium Exploration[J]. Petroleum Geoscience, 2022, 28(2): 1-13.
- Joanna S. 2021. Qatargas achieves new helium milestone [EB/OL]. (2021-02-02). [https://www. gasworld com/qatargas-achieves-new-helium-milestone/2020468. article](https://www.gasworld.com/qatargas-achieves-new-helium-milestone/2020468.article).
- Quader M A. Design and techno-economic evaluation of multi-stage membrane processes for helium recovery from natural gas [D]. Queensland: University of Queensland, 2020.
- USGS. Helium statistics and information [DB/OL]. United States Geologic Survey National Minerals Information Center, 2020-04-10. [http://minerals. er. usgs. gov/minerals/pubs/commodity/helium/](http://minerals.er.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/helium/).
- Yakutseni V P. World helium resources and the perspectives of helium industry development[J]. Petroleum Geology-Theoretical and Applied Studies, 2014, 9(1): 1-22.
- Zhang Wen, Li Yuhong, Zhao Fenghua, et al. Using noble gases to trace groundwater evolution and assess helium accumulation in Weihe Basin, central China [J]. Geochimica Et Cosmochimica Acta, 2019, 251: 229-246.
- Zhang Wen, Li Yuhong, Zhao Fenghua, et al. Granite is an Effective Helium Source Rock: Insights from the Helium Generation and Release Characteristics in Granites from the North Qinling Orogen, China[J]. Acta Geologica Sinica (English edition), 2020, 94(1): 114-125.