

文章编号: 1004-4051(2025)12-0004-11

DOI: 10.12075/j.issn.1004-4051.20252588

中国氦气产业现状及未来发展方向

秦胜飞¹, 孙琦森¹, 岳世超², 王 钧², 卢 铎^{1,3}, 李济远^{1,3}, 陶 刚⁴,
谭 聪¹, 柳庄小雪¹, 袁 苗¹, 王佳美^{1,3}, 高 宇⁵

(1. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083; 2. 中国石油长庆油田分公司第一采气厂, 陕西榆林 718500; 3. 中国矿业大学(北京)地球科学与测绘工程学院, 北京 100083; 4. 中国石油勘探开发研究院西北分院, 甘肃兰州 730020; 5. 北京大学, 北京 100871)

摘 要: 氦气作为一种不可再生、不可替代的战略性稀有气体, 在航空航天、半导体制造、核磁共振成像、低温超导及国防军工等关键领域具有不可替代的重要作用。当前, 中国氦气需求持续快速增长, 但国内供应能力严重不足, 高度依赖进口, 且进口来源受国际地缘政治格局变动影响显著, 供应链安全面临严峻挑战。在此背景下, 本文从近年来国内氦气供给的复杂变化情况, 分析加强国内氦气产业布局的必要性, 根据中国氦气资源现状和资源特点, 提出未来氦气产业发展方向。研究结果表明, 中国对氦气的需求总体呈上升趋势, 严重依赖进口, 进口国由于国际形势的变化不断发生改变。为了避免断供风险, 需要加强国内氦气产业布局, 让氦气供给达到自主可控。目前国内发现的天然气中氦气资源总体品位较低, 富氦资源少, 贫氦资源多, 不利于氦气的生产。未来氦气产业发展方向, 从源头上, 根据氦气富集特点与天然气成藏的差异, 在中部地区、西部地区选择有利于氦气富集的低品位油气区进行富氦资源的勘探。在生产上, 根据天然气中氦气资源品位划分等级, 分别采用不同的方法进行提氦生产, 氦气含量大于 0.3% 的资源可以直接提氦; 氦气含量介于 0.1%~0.3% 之间的气藏, 可以结合其他化工产品生产进行联合提氦, 降低成本; 氦气含量在 0.03%~0.10% 之间的天然气, 可以借助液化天然气生产利用闪蒸气提氦; 在以二氧化碳为主的气藏, 氦气含量达 0.03% 以上, 辖区内有需要注二氧化碳采油的区块, 可以进行二氧化碳生产的同时提取氦气。在西部经济欠发达地区, 用氦企业少, 氦气到中部、东部发达地区运输成本高, 不具有竞争力, 发现的富氦气藏可作为战略储备进行保护, 限制开采。本文提出的氦气勘探和提氦建议为中国氦气产业的发展规划和政策的制定提供参考依据。

关键词: 氦气工业; 氦气勘探; 氦气提取; 富氦资源; 战略储备; 供应链安全

中图分类号: TD-9 **文献标识码:** A

Overview of China's helium industry and its future development

QIN Shengfei¹, SUN Qisen¹, YUE Shichao², WANG Jun², LU Duo^{1,3}, LI Jiyuan^{1,3},
TAO Gang⁴, TAN Cong¹, LIU Zhuangxiaoxue¹, YUAN Miao¹,
WANG Jiamei^{1,3}, GAO Yu⁵

(1. Research Institute of Petroleum Exploration & Development, PetroChina, Beijing 100083, China; 2. No.1 Gas

收稿日期: 2025-12-11 责任编辑: 赵奎涛

基金项目: 国家自然科学基金专项“中西部叠合盆地氦气富集机理与资源潜力”资助(编号: 42141022); 国家自然科学基金面上项目“富氦煤层气和页岩气藏氦气富集机理”资助(编号: 42272189)

第一作者简介: 秦胜飞(1969—), 男, 博士, 博士生导师, 正高级工程师, 从事天然气地质与地球化学、油气成藏、氦气富集机理和分布规律等方面的研究, E-mail: qsf@petrochina.com.cn.

引用格式: 秦胜飞, 孙琦森, 岳世超, 等. 中国氦气产业现状及未来发展方向[J]. 中国矿业, 2025, 34(12): 4-14.

QIN Shengfei, SUN Qisen, YUE Shichao, et al. Overview of China's helium industry and its future development[J]. China Mining Magazine, 2025, 34(12): 4-14.

Production Plant, PetroChina Changqing Oilfield Company, Yulin 718500, China; 3. College of Geoscience and Surveying Engineering, China University of Mining and Technology-Beijing, Beijing 100083, China; 4. Research Institute of Petroleum Exploration & Development-Northwest, PetroChina, Lanzhou 730020, China; 5. Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: Helium, as an irreplaceable and non-renewable strategic rare gas, plays an indispensable and crucial role in key fields such as aerospace, semiconductor manufacturing, nuclear magnetic resonance imaging, low-temperature superconductivity, and national defense and military industry. Currently, China's demand for helium is growing rapidly, but domestic supply capacity is seriously insufficient, with a high degree of reliance on imports. Moreover, the sources of imports are significantly affected by changes in the international geopolitical landscape, posing severe challenges to the security of the supply chain. Against this backdrop, this paper examines the complex changes in domestic helium supply in recent years, analyzes the necessity of strengthening the domestic layout of the helium industry, and, based on the current status and characteristics of China's helium resources, proposes future development directions for the helium industry. The results show that China's demand for helium is generally increasing and remains heavily dependent on imports, while the countries of origin for helium imports have been constantly shifting in response to changes in the international situation. To mitigate the risk of supply disruption, it is necessary to reinforce the domestic industry layout so that helium supply becomes autonomous and controllable. Helium contents in helium-bearing natural gas resources discovered in China are generally low, with relatively few helium-rich and many helium-poor accumulations, which is unfavorable for helium production. For the future development of the helium industry: at the upstream stage, focus on exploration for helium-rich resources in low-grade oil and gas accumulations in central and western China that are favorable for helium enrichment, taking into account the differences between helium enrichment characteristics and natural gas accumulation. At the production stage, different helium recovery technologies should be adopted according to helium grades in natural gas: helium can be directly recovered from gases with helium contents $>0.3\%$; for gas reservoirs with $0.1\%-0.3\%$ helium, helium should be co-produced together with other chemical products to reduce costs; for natural gas with $0.03\%-0.10\%$ helium, helium can be recovered from boil-off (flash) gas during liquefied natural gas (LNG) production; in CO_2 -rich gas reservoirs where helium content exceeds 0.03% and CO_2 injection for enhanced oil recovery is required within the area, helium can be extracted concurrently with CO_2 production. In less developed western regions, where helium-consuming enterprises are scarce and the cost of transporting helium to the more developed central and eastern regions is high and uncompetitive, discovered helium-rich gas reservoirs may be designated as strategic reserves with restricted exploitation. The exploration and helium recovery strategies proposed in this paper provide a reference for the planning of China's helium industry and for the formulation of relevant policies.

Keywords: helium industry; helium exploration; helium extraction; helium-rich resource; strategic reserve; supply chain security

0 引言

氦是自然界中迄今已知熔点和沸点都最低的元素,兼具化学惰性、强扩散性及优异的导热性等独特的物理性质与化学性质,因而在航空航天、高科技制造、高端工业及民生医疗等领域具有广泛且不可替代的应用,已成为一种重要的稀有战略资源。

目前,工业所用氦气主要来源于天然气,其中从富氦天然气中提取是主流途径;其次是从液化天然气(LNG)储运过程中产生的闪蒸气(Boil-Off Gas, BOG)中回收氦气;另有少量通过空气分离获得。中

国作为天然气资源大国和产气大国^[1-3],其天然气中普遍含有微量氦气,理论上具备较为丰富的氦资源潜力。然而,已探明的绝大多数天然气藏中氦含量偏低,资源品位较差,难以经济高效地开发利用。

近年来,随着国家对氦气资源安全的重视程度不断提升,国内氦气产量有所增长。但由于富氦天然气资源稀缺、LNG产业规模有限,无论是直接从富氦气藏提氦,还是从BOG中回收氦气,产能均较为有限,远不能满足国内日益增长的需求,导致氦气对外依存度依然居高不下。当前,中国氦气产业链整

体仍显脆弱。尽管氦气提纯与储运技术已相对成熟,但产业链上游,即资源勘探与原生气生产环节仍十分薄弱。加之国内天然气中氦含量普遍较低,提氦成本高、经济性差,在国际市场上缺乏竞争力,中国氦气产业未来将如何发展,方向和目标难以确定。本文在系统梳理中国氦气产业现状的基础上,结合氦气资源勘探现状,提出未来发展的可行路径与战略方向。

1 中国氦气产业现状

1.1 供需矛盾突出,对外依存度长期高位

随着高新技术发展,中国对氦气的需求快速增加,自2015年以来呈稳步增长态势,从 $1\,614.00 \times 10^4 \text{ m}^3$ 增至2024年的 $2\,569.81 \times 10^4 \text{ m}^3$,年均增长率约4.8%,增长动力主要来自半导体、医疗设备与新能源等新兴产业。然而,中国氦气产量增长相对滞后,2015—2020年自产量始终低于 $60 \times 10^4 \text{ m}^3$,直至2021年产能建设提速后,自产量才突破 $100 \times 10^4 \text{ m}^3$,2024年达到 $448.5 \times 10^4 \text{ m}^3$,十年间自产量增长16.94倍(表1)^[4]。

中国氦气高度依赖进口,对外依存度在2022年及之前的年份均高于90%。2015—2018年,中国氦气对外依存度均高达98%;2019—2020年,由于国际突发卫生事件,氦气需求量有所降低,中国对外依存度略有下降;但2021年开始,氦气需求回升,进口量逐年增加,由于国内氦气产量明显增加,对外依存度明显下降(图1)。值得注意的是,2020—2024年中国氦气产能从 $140.7 \times 10^4 \text{ m}^3$ 激增至 $1\,115.3 \times 10^4 \text{ m}^3$,增长6.93倍,但产能利用率却在低位徘徊,反映出生产端存在成本过高、原料气供给不足等现实问题,产能难以有效释放。

伴随贸易摩擦事件屡屡发生,中国国内认识到氦气自给自足的重要性,开展氦气产能建设,积极进行氦气生产,氦气产量逐年增加,2021年自产量首次

表1 2015—2024年中国氦气自产量、消耗量及产能

Table 1 Helium production, consumption and production capacity of China from 2015 to 2024

年份	自产量/ ($\times 10^4 \text{ m}^3$)	消耗量/ ($\times 10^4 \text{ m}^3$)	产能/ ($\times 10^4 \text{ m}^3$)	对外 依存度/%	产能 利用率/%
2015	25.0	1 614.00	35.0	98.46	71.43
2016	28.0	1 802.00	39.7	98.46	70.53
2017	32.0	2 041.00	43.3	98.45	73.90
2018	35.0	2 346.60	48.7	98.53	71.87
2019	50.0	2 260.20	50.9	97.81	98.23
2020	53.0	2 127.70	140.7	97.55	37.67
2021	143.5	2 242.20	230.7	93.63	62.20
2022	195.0	2 406.10	325.8	92.12	59.85
2023	268.0	2 565.00	797.0	89.62	33.63
2024	448.5	2 569.81	1 115.3	83.51	40.21

资料来源:文献[4]。

超过 100 万 m^3 ,至2024年超过了 400 万 m^3 ,当年对外依存度首次降到85%以下。随着产量的增长,对外依存度有望进一步降低,但短期内仍难改变国内氦气产量低、严重依赖进口的现状,这一产业痛点亟待改变。

1.2 进口格局动荡,地缘政治风险加剧

中国氦气进口来源受国际局势影响显著,进口氦气的国家和进口额度不断发生变化,呈现“从多元到集中”的演变趋势(表2和图2)。2015年,中国氦气进口来源以卡塔尔、美国和澳大利亚为主,三者合计占比99.54%。2018年7月美国对中国商品加征关税,中国逐步减少美国氦气进口,到2019年,从美国进口份额占比由2018年的33.18%降至23.37%,从卡塔尔进口份额占比则升至65.17%。2022年俄乌冲突后,俄罗斯凭借资源优势与价格竞争力,成为中国氦气进口的重要补充,2023年从俄罗斯进口量达到

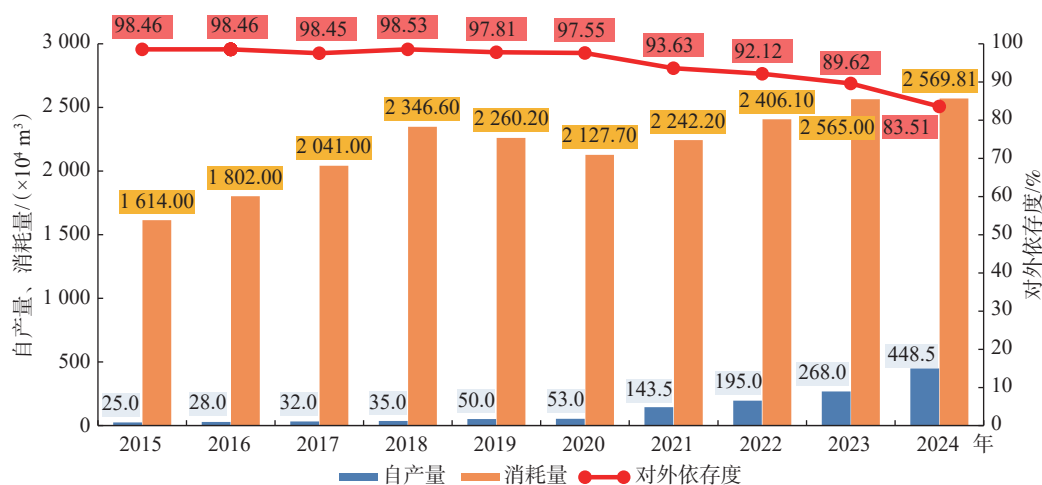


图1 2015—2024年中国氦气自产量、消耗量及对外依存度

Fig. 1 Helium production, consumption, and external dependence of China from 2015 to 2024

177.0×10⁴ m³, 较 2022 年增长 11.64 倍, 2024 年进一步增至 758.0×10⁴ m³, 占进口总量的 33.36%。2025 年 1—8 月, 氦气进口格局进一步集中, 卡塔尔(55.60%)

与俄罗斯(42.02%)合计占比 97.62%, 美国份额仅占 2.10%, 澳大利亚因达尔文提氦厂原料气枯竭已停止对中国出口。

表 2 2015—2025 年中国氦气进口量及价格

Table 2 China's helium import volume and prices from 2015 to 2025

年份	进口总量/(×10 ⁴ m ³)	美国/(×10 ⁴ m ³)	卡塔尔/(×10 ⁴ m ³)	澳大利亚/(×10 ⁴ m ³)	俄罗斯/(×10 ⁴ m ³)	其他国家/(×10 ⁴ m ³)	价格/(元/m ³)
2015	1 598.4	442	958	191	0.4	7	62
2016	1 785.0	690	867	220	0	8	61
2017	2 032.0	740	1 042	228	0	22	57
2018	2 339.0	776	1 225	303	0	35	61
2019	2 234.0	522	1 456	230	4.0	22	79
2020	2 111.0	329	1 551	179	8.0	44	99
2021	2 111.0	196	1 718	171	17.0	9	96
2022	2 280.0	253	1 879	89	14.0	45	160
2023	2 313.0	225	1 878	8	177.0	25	162
2024	2 272.0	105	1 404	0	758.0	5	137
2025(1—8月)	1 811.0	38	1 007	0	761.0	5	117

资料来源: 文献 [5]。

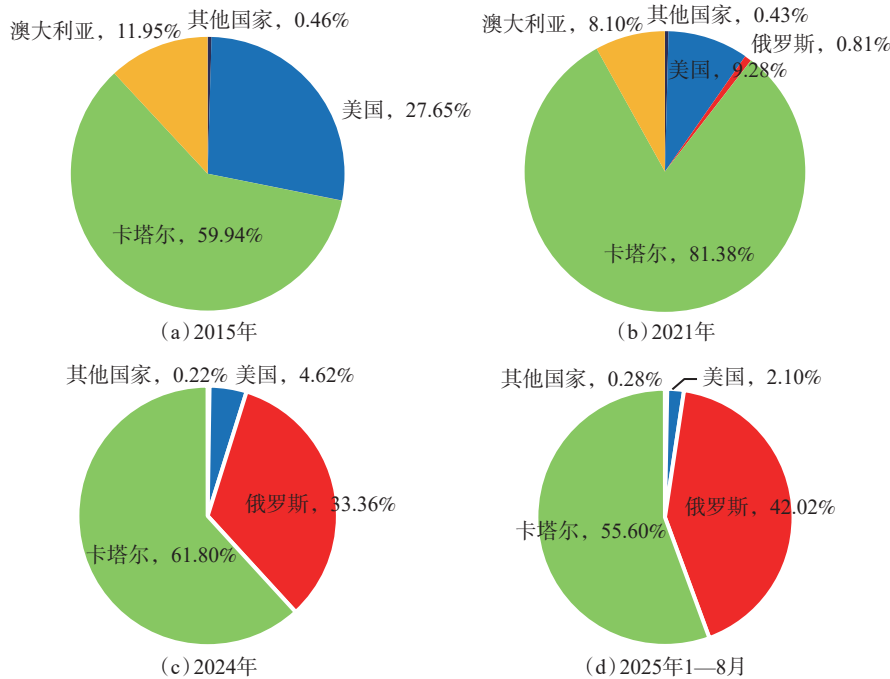


图 2 中国主要氦气进口国氦气进口量占比变化

Fig. 2 Changes in the proportion of helium imports from major helium importing countries in China

不仅氦气进口受国际环境影响, 进口价格的波动同样显著。2015—2018 年, 氦气进口均价稳定在 57~62 元/m³; 2019 年因美国减少出口配额, 氦气进口价格升至 79 元/m³; 2020 年受新冠疫情影响, 物流成本上升, 均价突破 90 元/m³; 2022 年俄乌冲突导致全球氦气供应链紧张, 均价飙升至 160 元/m³; 2023—2025 年, 随着俄罗斯氦气产能释放, 价格逐步回落至 117~162 元/m³, 但仍高于 2019 年前水平(表 2)。

目前, 中国氦气对外依存度仍徘徊在高位, 受国际局势影响, 存在断供风险; 另外, 卡塔尔地处中东, 易受海湾局势影响, 未来氦气生产和运输都存在一定的变数。继续增加国内氦气产量, 降低对外依存度, 使中国氦气供给达到自主可控, 保障国内核心领域及民生需求, 是未来氦气产业发展的重要目标。

1.3 生产路径单一, 技术经济性受限

为了降低进口依赖度, 中国正在积极加大氦气

生产力度和产能建设步伐。当前,中国氦气生产主要依赖两类路径:一是富氦天然气直接提氦;二是 LNG-BOG 提氦。

富氦天然气提氦方面,国内仅少数气田具备商业开发价值。四川盆地威远气田(氦气含量平均 0.2%)是国内最早开展提氦的气田,20 世纪 70 年代最高年产氦气仅 $3 \times 10^4 \text{ m}^3$ ^[6],后因原料气供给不足与提氦成本高于国外进口价格停产;2012 年,经过天然气开采技术攻关,重建天然气提氦装置,气田恢复生产,设计处理天然气 $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,但由于原料气供给不足,年产氦气仅数万立方米,目前仍坚持提氦。塔里木盆地和田河气田(氦气平均含量约 0.30%)、阿克莫木气田(氦气平均含量约 0.12%)采用深冷法直接提氦,因气田位于西部偏远地区,外运成本高,且天然气中乙烷等重烃含量很低,不适合开展乙烷生产项目联合提氦,两个气田年产氦气不足 $100 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

LNG-BOG 提氦是当前国内氦气产量的主要来源,以民营企业为主,提氦原料气来自于油田企业 LNG 中的 BOG。油气相关企业有生产 LNG 的需求,在储存过程中,由于环境热量传入等因素,导致部分 LNG 会气化形成 BOG,其中的氦气含量比原料天然气中氦气含量高数倍,提氦成本较低。国内代表性项目包括宁夏盐池 LNG-BOG 低温提氦装置(年产氦气 $10 \times 10^4 \text{ m}^3$)等。但这些提氦项目存在明显的局限性:一是受 LNG 产能限制,BOG 产量有限;二是分布零散,主要集中于中西部 LNG 产区,与东部用氦市场存在运输成本差;三是氦气含量仍偏低,若原料天然气氦气含量 $< 0.03\%$,BOG 提氦的经济性将大幅

下降。

此外,国内曾尝试通过空气分离法提氦,但因能耗极高,目前仅用于实验室小规模生产,无工业应用。

1.4 “产能过剩”与“有效供给不足”

近年来,随着聚乙烯等化工产品需求旺盛,众多油气企业倾向于利用乙烷等重烃气含量较高的天然气作为原料。这一趋势促使了低温法分离乙烷和重烃气工艺的广泛应用,进而带动了氦气产能建设的显著增长。

然而,受限于原料气中氦气含量较低,即使通过常规低温法将天然气中乙烷等重烃气分离后,氦气浓度的提升幅度依然有限。此外,乙烷分离仅需将天然气降温至 $-80 \text{ }^\circ\text{C}$ 左右,而进一步采用深冷法提纯氦气则需要大幅降温以液化甲烷,这导致提氦成本呈指数级上升。

鉴于无法单纯依赖其他化工产品的利润来补贴氦气生产带来的亏损,加之氦气产能利用率长期维持在 40% 以下,因此,尽管 2020—2024 年氦气产能经历了从 $140.7 \times 10^4 \text{ m}^3$ 到 $1\ 115.3 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的爆发式增长(图 3),但是氦气实际产量的释放速度仍相对滞后,呈现出典型的“产能过剩”与“有效供给不足”并存特征。

2 中国氦气资源勘探现状

2.1 天然气中氦气资源品位偏低,富氦气藏稀缺

中国天然气资源丰富,产量增加迅速,目前已是全球排名第四位的产气大国^[9],为中国油气产业链保障和新质生产力理念的发展做出突出的贡献^[7-8]。目前发现的天然气中都含有氦气,总体上贫氦资源多,

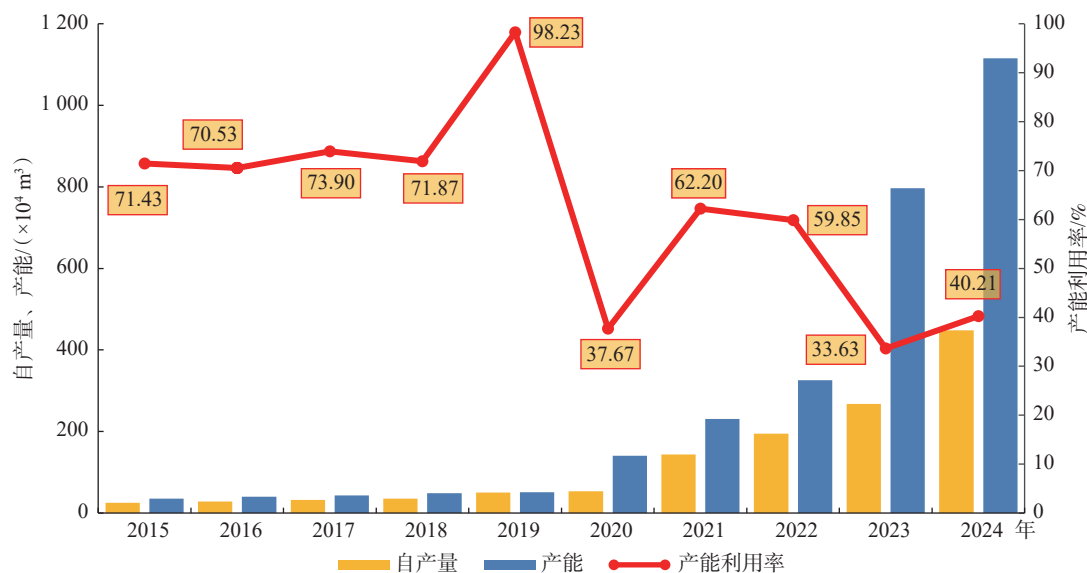


图 3 2015—2024 年中国氦气产能利用率

Fig. 3 Utilization rate of helium production capacity in China from 2015 to 2024

富氦资源少, 多数天然气都不适合直接提氦, 不具备商业开采价值。美国产业界把氦气含量 0.3% 作为富氦天然气划分标准; BOWERSOX^[9] 则认为肯塔基 (Kentucky) 氦气含量超过 0.4% 才具备开采价值; BALLENTINE 等^[10] 把氦气含量 0.1% 作为富氦气藏的标准。中国已发现具有一定规模的天然气田中, 只有塔里木盆地和田河气田氦气含量达到 0.3% 的标准, 本文根据中国天然气勘探实际情况, 把富氦气藏的氦气含量标准确定为 0.1%^[11]。即便如此, 在国内众

多的气田中, 氦气含量大于 0.1% 的富氦气田数量仍较少, 且以中小型气田为主: 塔里木盆地和田河气田、阿克莫木气田; 柴达木盆地东坪气田、尖北气田、马北气田; 四川盆地威远气田; 鄂尔多斯盆地东胜气田、庆阳气田、三交北气田; 松辽盆地五站气田、太平庄气田 (表 3)。国内绝大多数气田氦气含量小于 0.1% (表 3), 特别是高产气田, 氦气含量更低, 例如四川盆地安岳气田, 灯影组和龙王庙组为主采气藏, 氦气含量不足 0.02%, 无法满足提氦需求。

表 3 中国代表性气田天然气组分

Table 3 Natural gas components from representative gas fields in China

盆地	气田	井号	层位	主要天然气组分/%						
				CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	CO ₂	N ₂	He	
塔里木盆地	阿克莫木气田	AK1-2	K ₁	78.04	0.20	0.020	14.19	7.38	0.120	
		AK1-H4	K ₁	77.96	0.22	0.020	13.61	7.92	0.150	
		AK4-1	K ₁	78.40	0.37	0.050	13.40	7.60	0.110	
		AK1	K ₁	77.82	0.20	0.020	14.26	7.58	0.120	
	和田河气田	MA4-B2H	O	85.10	1.58	0.620	1.31	10.45	0.320	
		MA5-1	C	83.67	1.48	0.680	0	13.00	0.430	
		MA4-10H	C	84.81	1.40	0.520	2.25	10.14	0.300	
		MA4-7H	C	83.64	1.51	0.670	0	12.84	0.370	
		东坪气田	DP305	基岩	76.75	1.06	0.210	0	22.30	0.695
			DPH302	E ₃ ²	90.86	0.47	0.060	0	8.04	0.086
DP307	E ₃ ¹		82.17	0.94	0.180	0	17.00	0.387		
柴达木盆地	尖北气田	DP306	E ₃ +基岩	85.11	0.80	0.110	0	14.10	0.606	
		JBH1-1	基岩	84.51	2.29	0.190	0	13.00	0.283	
		JT1	基岩	83.67	2.07	0.170	0	12.90	0.258	
	马北气田	JBH1-2	基岩	84.00	2.12	0.170	0	11.50	0.165	
		MB2-1	E ₃ ¹	78.96	9.34	3.550	0	4.80	0.231	
		MBH1-3	E ₃ ¹	78.30	8.67	3.420	0	5.58	0.265	
	威远气田	MBH1-1	E ₃ ¹	80.14	8.49	2.900	0	5.76	0.256	
		W42	Z	89.25	0.07	0.000	3.97	6.52	0.190	
		W118	ε	90.93	0.12	0.000	0.36	6.63	0.200	
		W112	Z	88.81	0.08	0.000	4.07	6.79	0.230	
安岳气田	MX-124	ε	92.82	0.08	0.020	5.22	0.63	0.020		
	MX-009-3-X2	ε	98.97	0.14	0.010	—	0.01	0.013		
	MX-12	ε	97.14	0.17	0.020	1.43	0.32	0.012		
	GS001-X3	Z	94.20	0.04	0.000	4.73	0.69	0.018		
	GS001-H33	Z	93.90	0.04	0.000	5.36	0.60	0.017		
	GS001-H2	Z	93.30	0.04	0.000	5.38	0.65	0.017		
	HC001-28	T ₃	90.39	6.37	1.450	0	0.71	0.031		
	HC001-1	T ₃	90.91	5.96	1.290	0.16	0.64	0.028		
合川气田	HC001-87	T ₃	89.04	7.16	1.740	0.13	0.65	0.031		
	HC001-X3	T ₃	88.68	6.83	1.660	0.15	0.73	0.032		
	GA002-X34	T ₃	89.40	6.68	1.730	0	0.55	0.034		
	GA002-21	T ₃	88.65	6.70	1.790	0	0.51	0.039		
	GA002-30	T ₃	89.28	6.58	1.720	0.18	0.51	0.041		
	GA002-31	T ₃	87.83	6.54	1.760	0.24	0.57	0.035		
	天府气田	QL211	J ₂	91.94	5.09	1.030	0	0.98	0.070	
		QL207	J ₂	92.29	4.97	0.980	0	0.82	0.045	
QL16		J ₂	92.86	4.80	0.920	0	0.79	0.049		
QL203		J ₂	91.55	5.14	1.070	0	1.18	0.053		

续表 3

盆地	气田	井号	层位	主要天然气组分/%					
				CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	CO ₂	N ₂	He
鄂尔多斯盆地	庆阳气田	城 3-15-15	P	89.60	0.89	0.090	2.29	6.76	0.280
		城 3-25-20	P	89.30	1.08	0.150	2.66	6.45	0.240
		城探 3	P	89.50	1.05	0.140	2.62	6.33	0.240
		城探 3-1	P	89.30	1.05	0.140	2.78	6.32	0.240
		宁古 14	P	89.00	1.05	0.150	2.56	6.61	0.240
		宁古 3-1	P	89.10	1.14	0.230	1.90	7.02	0.210
	东胜气田	宁古 3-18-18	P	88.60	1.15	0.200	2.69	6.92	0.230
		J11-1	P	92.60	3.67	0.890	0.10	1.85	0.130
		J11P4H	P	93.00	3.54	0.840	0.12	1.75	0.130
	三交北气田	SJB19	P	92.60	3.57	0.840	0.01	2.25	0.100
		SJB16	P	92.80	3.92	0.984	0.02	1.46	0.112
		SJB16-44	P	92.90	3.84	0.922	0.03	1.43	0.112
	榆林气田	榆 34-01H2	P	93.80	3.80	0.555	0.40	0.81	0.037
		榆 47-9	P	93.70	3.68	0.570	1.26	0.36	0.030
		榆 47-10	P	93.20	3.97	0.600	1.42	0.34	0.030
五站气田	五 102	K ₁	94.80	—	—	0.45	—	0.100	
	五 101	K ₁	94.80	—	—	0.51	—	0.110	
	五 106	K ₁	92.20	—	—	0.55	—	0.210	
	五 109	K ₁	94.80	—	—	0.30	—	0.110	
	五深 1	K ₁	93.70	—	—	0.43	—	0.130	
	庄深 1	K ₁	89.30	—	—	0.26	—	0.140	
太平庄气田	万 11	K ₁	82.10	—	—	0.22	—	0.140	
	双 17	K ₁	86.90	—	—	0.27	—	0.190	
	万 5	K ₂	0.52	—	—	99.48	5.00	0.040~0.080	
	万 6	K ₂	1.30	—	—	97.77	0.77	0.020~0.070	

注：塔里木盆地、柴达木盆地、四川盆地、鄂尔多斯盆地资料由笔者团队采样在中国计量科学研究院测试；松辽盆地五站气田、太平庄气田资料来源文献 [12]；松辽盆地万金塔气田资料来源文献 [13]。

2.2 富氦气藏规模小,且多为偶然发现

根据表 3 数据统计,中国目前探明的所有氦气含量大于 0.1% 的富氦气田,除了鄂尔多斯盆地东胜气田储量规模稍大,绝大多数气田规模均较小,且氦气的剩余可采储量规模普遍有限,即便进行氦气生产,因氦气含量不高仍不具有成本优势。目前发现的富氦气藏多系在常规天然气勘探过程中无意发现的,当时受限于对氦气富集地质条件和成藏机理认知不足,对氦气的重视程度不够,缺乏针对性的专项勘探部署。传统的勘探选区根据油气地质理论指导,依据油气成藏的基本地质条件进行目标评价。发现气藏后,在测试天然气组分时偶然发现其具备高氦特征,随后经多次取样及多家实验室对比测试,最终确定了一批富氦气田(图 4)。

2.3 地热水中氦气资源丰富但无开采价值

除天然气中有氦气资源,地热水或温泉气中也蕴藏着丰富的氦气资源。针对这一领域,中国地质调查局西安地质调查中心对渭河盆地开展了最为系统的研究。研究表明:渭河盆地具备优越的水溶氦成藏条

件,其勘查程度内与水溶氦相关的地热水资源量达 $14\ 781.20 \times 10^8\ \text{m}^3$,气水比、氦气含量分析数据见表 4。基于该区域的气水比(1:10)及气体中氦气含量(1%),渭河盆地水溶氦气资源量可达 $14.78 \times 10^8\ \text{m}^{3[14]}$ 。这一发现为我国开辟了新的氦气资源基地。

尽管水溶型氦气在地壳中的资源总量巨大,但由于其浓度极低,通常被认为缺乏直接的经济开采价值。根据表 4 数据,虽然地热水伴生气中的氦气含量较高,但需增加气水分离工序,也就增加了额外成本,其工业利用前景并不乐观,更主要的是,由于地热水中气水比总体较低,开采地热水过程中释放出的气体有限,难以形成规模化工业产能。此外,由于环保需要,开采出的地热水经供暖系统循环后需回注至地层中,导致开采区的地热水在地下形成自身循环系统。在此过程中,循环后的地热水其气水比及氦气含量都会显著消减,从而失去提氦价值。然而,值得注意的是,富氦气藏的形成往往离不开地下水水溶型氦气的贡献^[15-16],因此,在地热水发育盆地,寻找与地热水活动相关联的气藏,依然是寻找氦

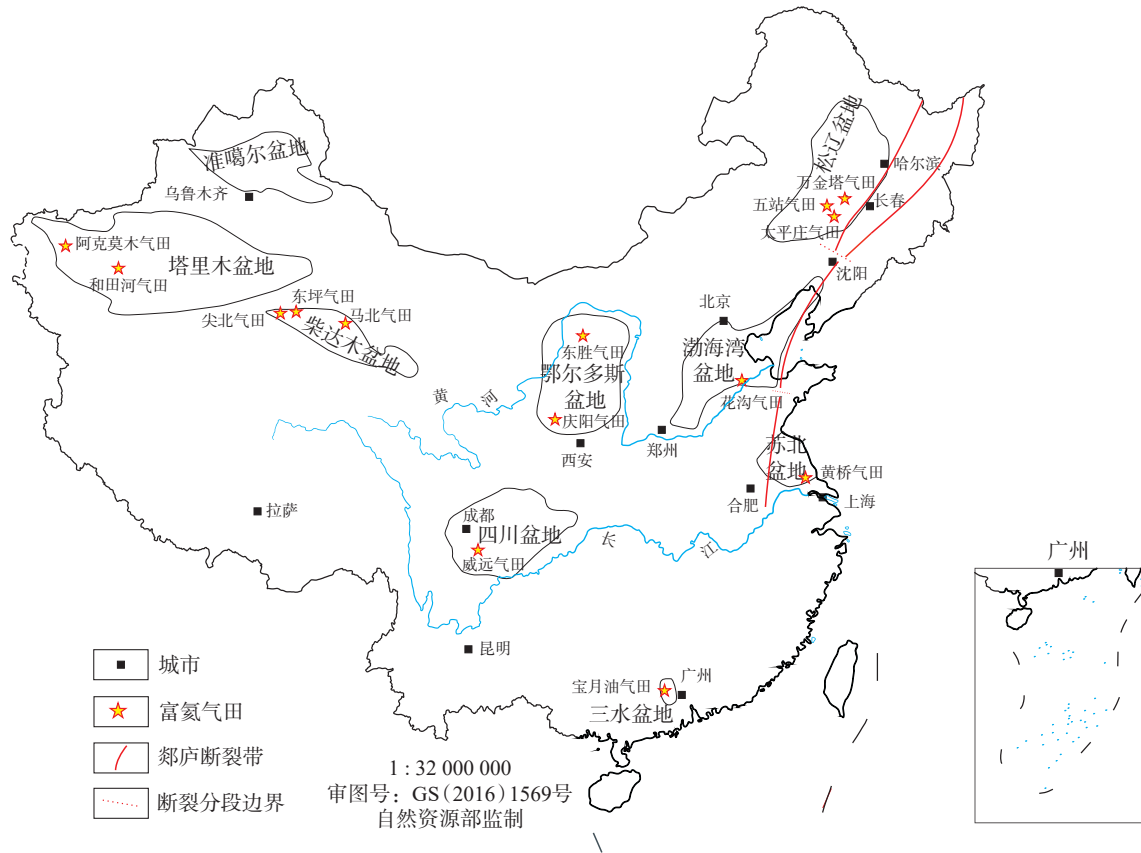


图 4 中国富氦气田分布

Fig. 4 Distribution of helium-rich gas fields in China

表 4 渭河盆地地热井气水比测量成果数据

Table 4 Measurement results of gas water ratio in geothermal wells in the Weihe Basin

井号	压力/MPa	水量/(m ³ /h)	气水比/%	氦气含量/%	备注
渭热 1 井		11.5	170.0	0.10	自喷
渭热 4 井	0.09	48.3	10.4	0.38	泵抽
051 井	0.17	23.3	5.5	4.94	自喷
渭热 2 井	0.80	31.2	11.3	0.16	自喷
051 家属院	0.35	32.4	4.9	3.37	泵抽
三普 1 号	0.27	74.0	4.8	2.20	自喷
三普 2 号	0.14	96.0	24.2	2.25	自喷

资料来源: 文献 [14]。

气的重要探索方向。

2.4 已有目的开展氦气兼探井的部署

在氦气富集理论的指导下, 基于氦气富集机理和成藏条件, 在中西部盆地开展了系统的氦气富集有利区研究。目前, 中国石油塔里木油田分公司在塔里木盆地成功部署并实施了多口具有工业价值的氦气兼探井。例如, 在塔里木盆地部署的恰探 1 井氦气含量 0.26%, 罗探 1 井氦气含量 0.20%, 古探 1 井氦气含量 0.10% 等。

这些勘探实例表明, 塔里木盆地具备良好的氦

气资源勘探前景, 且部分构造带已具备较高的工业开采潜力。

3 中国氦气产业未来发展方向

3.1 聚焦中西部地区寻找富氦资源

全球富氦气藏的形成主要源于岩石中铀、钍元素的放射性衰变。研究表明, 生氦能力受控于岩石中铀、钍的含量及地质年代, 地层年代越古老, 放射性衰变持续时间越长, 累计产生的氦气量通常越多。

中西部地区的盆地是中国天然气勘探的主战场^[17], 天然气资源丰富, 油气系统年代古老, 油气系统之下的古老基底发育, 基底岩石生氦时间长, 有利于气藏捕获更多的氦气, 在特殊地质条件下形成了富氦气藏。基于氦气富集理论与现有勘探成果, 中国具有工业价值的富氦气田呈现出显著的区域差异性, 具有一定规模的富氦气田无一例外都分布于中西部地区的盆地。例如威远气田、东胜气田、庆阳气田、和田河气田、东坪气田等因具备古老基底、漫长的生氦历史及特殊的构造捕获条件, 已成为富氦气藏的主要发育区。目前的提氦厂也基本分布于此。相比之下, 东部地区的盆地虽然油气资源丰富, 但地层相对年轻^[18], 生氦时间较短, 难以形成大规模富集, 因此并非主要勘探目标。

3.2 加强非甜点区氦气勘探和资源评价

气藏中氦气含量主要取决于天然气的充注强度和氦气的贡献量,在生气强度较高的地区,由于大量天然气对氦气产生显著的稀释效应,往往不利于氦气的高浓度富集。从氦气含量与天然气储量丰度的相关性来看,仅凭烃源岩-储集层油气系统自身生成的氦气,其富集难度极大。只有当气藏有来自古老基底额外的氦气供给时^[16],才能突破常规限制,产生氦气含量大于 0.1% 的气田。天然气对氦气的稀释作用相对较弱,且天然气的储量丰度普遍较低(图 5)。若无额外的氦气给气藏供氦,仅凭内生机制很难使气藏中氦气含量超过 0.1%,显示出在天然气勘探甜点区,往往不利于氦气富集。因此,在天然气生气强度较低、天然气储量丰度相对较低的区块,往往成为氦气勘探极具潜力的有利地区。

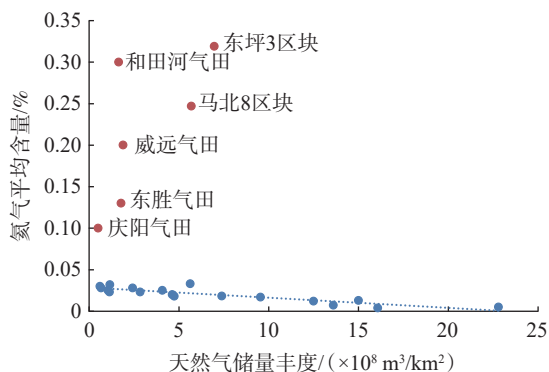


图 5 氦气含量与天然气储量丰度关系

Fig. 5 The relationship between helium content and natural gas reserve abundance

3.3 在古老地下水发育区寻找低品位的天然气藏

在古老地层中的地下水发育区寻找低品位天然气藏是探索富氦资源的关键策略。地热水中的氦气虽暂不具有直接开采价值,但其对富氦气藏的形成起着至关重要的示踪作用与运移作用。

全球富氦气藏的稀有气体地球化学分析表明,氦气的富集与地下水系统息息相关,古老地层中的地下水溶解了基底岩石中的铀和钍,经历漫长的地质历史时期发生放射性衰变生成氦气。随着构造活动,富含氦气的地下水沿断裂带运移,往气藏方向运移,释放出氦气,同时将溶解的氮气一道释放,从而形成富氦气藏,且氦气含量也随之显著增加^[19]。因此,水溶型氦气的释放,往往是富氦气藏形成的“灵魂”或关键驱动力。

以渭河盆地为例,该盆地不仅水溶型氦气资源丰富,且盆地内多处发现了油气显示,存在与地热水资源相伴生的游离氦气资源的潜力。20 世纪 70 年

代,前人在渭河盆地进行石油勘探时,于渭深 13 井钻遇到良好的气显示。经过两个阶段的气层测试,该井产少量天然气,气体组分中甲烷含量 20.80%~22.90%、重烃含量 0.090%~0.187%、氮气含量 50%~76%,氦气含量则高达 2.13%~4.14%。另外,盆地内钻探的渭参 3 井的两个气样亦检测到含量 0.90% 的氦气,进一步佐证了该区域的富氦特征^[14]。

3.4 开展多元化提氦

中国氦气资源禀赋具有显著的“贫富不均”特征。目前,直接提氦资源稀缺,仅限于高含量气田;而大量低品位气田(如鄂尔多斯盆地)虽具备开发潜力,但需依赖联产工艺或特定工艺。因此,开展多元化提氦是保障国家氦气安全的关键。

3.4.1 直接提氦

中国常规天然气中,氦气含量大于 0.3% 的资源量极其稀缺,按此标准,可直接提氦资源很少,其经济可行性较低。然而,随着提氦工艺的进步,威远气田(氦气含量平均为 0.2%)提氦取得较好的效果。因此,氦气含量大于 0.2% 且具有一定产气规模的天然气田同样可以直接提氦。

目前,国内已发现多个氦气含量平均值超过 0.2% 的高潜力天然气田,这些区域构成了当前中国主要的可利用氦气资源基础。表 3 中的和田河气田、威远气田、东坪气田、尖北气田,以及庆阳气田的城探区块、宁古区块等,均属于高丰度氦气富集区,是目前国内发现氦气含量最高的几个气田。

3.4.2 采用化工产品联产提氦

氦气含量大于 0.1%~0.2% 的天然气,单独提氦在经济上不具备显著的成本优势。由于天然气中氦气含量比较可观,采用化工产品联产提氦来降低综合成本。例如,在轻烃回收和乙烷回收项目中,生产过程需在低温环境下进行乙烷和重烃组分分离,与此同时二氧化碳和水蒸气也会被高效除去,之后再进一步进行提氦,可适当降低成本。该工艺对天然气组分有特定要求,除氦气含量需要大于 0.1% 外,还要求乙烷等重烃气含量较高。目前,符合此类特征的天然气主要分布在鄂尔多斯盆地,包括东胜气田、庆阳气田的庆探区块、黄龙气田等。

3.4.3 中低氦天然气在具备 LNG 需求地区使用 BOG 提氦

对于氦气含量 0.03%~0.10% 的天然气,在具备 LNG 生产需求的地区,可采用 LNG-BOG 联合提氦工艺。卡塔尔拥有全球最大的天然气田,其天然气中氦气含量虽较低,但由于出口天然气需要大规模液化,LNG 产能巨大,伴随产生的 BOG 资源充足,使得

提氦成本异常低廉, 氦气产量节节攀升, 目前氦气产量已占据全球 1/3 以上, 后期随新建 LNG 项目的陆续投产, 其氦气产量有望进一步增长, 未来或将成为全球最大的氦气生产国^[20]。

尽管 LNG-BOG 联合提氦工艺对天然气中氦气含量要求相对较低, 但也必须有一定的含量。若天然气中氦含量太低, 则 BOG 中氦的富集程度将受限, 导致提氦成本也会大幅度增加, 提氦经济性大幅下降, 不利于提氦。因此, 建议优先选用氦气含量大于 0.03% 的天然气资源为提氦原料。中国此类天然气资源比较丰富, 主要集中在鄂尔多斯盆地和四川盆地, 除了浅层煤层气外, 鄂尔多斯盆地绝大多数天然气的氦气含量都能达到此标准; 四川盆地川中须家河组、沙溪庙组天然气及龙马溪组页岩气等, 其氦气含量也普遍高于 0.03%, 具备开展 LNG-BOG 联合提氦的资源基础。

3.4.4 二氧化碳气藏提氦

在中国东部地区的盆地, 以二氧化碳为主的气藏较为普遍, 其中不乏纯二氧化碳气藏。尽管这类气藏中氦气含量通常较低, 但由于油田企业为实施二氧化碳驱油需要, 而大量采购二氧化碳, 使得此类气藏具备经济开发价值。鉴于从天然气中分离二氧化碳的成本较低, 可将该类气藏作为二氧化碳的来源用于井下驱油作业, 在分离出二氧化碳后, 伴生的氦气大幅度浓缩而显著富集, 从而为后续提氦提供了有利条件。

3.4.5 保护性开采西部偏远地区富氦资源

西部地区经济相对欠发达, 用氦企业较少。当地生产的氦气通常需长距离运输到中部地区、东部地区的用氦企业, 导致运输成本高、终端价格缺乏竞争力。鉴于此类气田的天然气资源丰度较低、品位较差, 其常规天然气开采本身经济效益有限, 对企业增产创效贡献不大。因此, 可将其中富含氦气的气田作为战略性资源予以保护, 限制当前阶段的大规模商业开采, 转而纳入国家氦气战略储备体系, 以应对未来可能出现的供应风险或紧急需求。

4 结 语

尽管中国已建立起较为完整的氦气生产-运输-销售产业链, 但产业链上游资源基础仍显薄弱, 氦气对外依存度维持在高位。随着国际形势持续演变, 外部供应存在断供风险。与此同时, 中国经济高质量发展对氦气的需求持续增长, 亟需扩大自主的氦气产业规模, 以增强资源安全保障能力。

目前, 中国已探明的天然气中氦气含量普遍偏低, 难以支撑氦气产量的大幅度提升。依据氦气富

集理论, 未来应重点在中国西部地区开展富氦天然气资源勘查, 力争发现更多、更大规模的富氦气藏, 为氦气产业发展提供坚实的资源基础。

在氦气生产方面, 应结合现有天然气中氦气资源的特点、天然气组分特征, 科学规划并制定多元化的提氦技术路线, 优化工艺流程, 降低提氦成本, 从而有效缓解对外依赖, 提升我国氦气供应链的自主可控水平。

参考文献 (References):

- [1] 樊大磊, 王宗礼, 李剑, 等. 2023 年国内外油气资源形势分析及展望[J]. 中国矿业, 2024, 33(1): 30-37.
FAN Dalei, WANG Zongli, LI Jian, et al. Analysis of domestic and international oil and gas resources situation in 2023 and outlook[J]. China Mining Magazine, 2024, 33(1): 30-37.
- [2] 樊大磊, 王宗礼, 王彧嫣, 等. 2024 年国内外油气资源形势分析及展望[J]. 中国矿业, 2025, 34(1): 46-54.
FAN Dalei, WANG Zongli, WANG Yuyan, et al. Analysis of oil and gas resources situation at home and abroad in 2024 and outlook[J]. China Mining Magazine, 2025, 34(1): 46-54.
- [3] 贾承造, 郭彤楼, 刘文汇, 等. 煤成气理论推动中国从贫气国跃升为世界产气大国[J]. 石油勘探与开发, 2025, 52(3): 499-512.
JIA Chengzao, GUO Tonglou, LIU Wenhui, et al. The coal-formed gas theory promoting China from a gas-poor country to a major gas-producing country in the world[J]. Petroleum Exploration and Development, 2025, 52(3): 499-512.
- [4] 龚硕锴. 我国氦气提取技术及市场发展分析[J]. 低温与特气, 2025, 43(3): 4-7.
GONG Shukai. Analysis of helium extraction technology and market development in China[J]. Low Temperature and Specialty Gases, 2025, 43(3): 4-7.
- [5] 中华人民共和国海关总署. 海关进出口数据统计[EB/OL]. [2025-11-01]. <http://stats.customs.gov.cn/>.
- [6] 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.
FENG Wanfang. Analysis of economic benefit of extracting helium from Weiyuan Natural Gas[J]. Natural Gas Industry, 1989, 9(3): 69-71.
- [7] 郑明贵, 倪京生, 罗来文, 等. 中国石油资源产业链供应链安全评价[J]. 中国矿业, 2025, 34(2): 99-110.
ZHENG Minggui, NI Jingsheng, LUO Laiwen, et al. Security evaluation of industry and supply chains of petroleum resources in China[J]. China Mining Magazine, 2025, 34(2): 99-110.
- [8] 杨丽丽. 新质生产力理念下中国油气高质量发展战略思考[J]. 中国矿业, 2024, 33(50): 32-38.
YANG Lili. Study on high-quality development strategy of oil and gas industry in China under the concept of new quality productive forces[J]. China Mining Magazine, 2024, 33(50): 32-38.
- [9] BOWERSOX J R. Assessing the potential helium resources in Central Kentucky[C]//Oral presentation given at 2018 AAPG 47th Annual AAPG-SPE Eastern Section Joint Meeting, Pittsburgh, PA, October 7-

- 11, 2018.
- [10] BALLENTINE C J, SHERWOOD-LOLLAR B. Regional groundwater focusing of nitrogen and noble gases into the Hugoton-Panhandle giant gas field, USA[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2002, 66(14): 2483-2497.
- [11] 秦胜飞, 李济远, 王佳美, 等. 中国含油气盆地富氮天然气藏氮气富集模式[J]. 天然气工业, 2022, 42(7): 125-134.
QIN Shengfei, LI Jiyuan, WANG Jiamei, et al. Helium enrichment model of helium-rich gas reservoirs in petroliferous basins in China[J]. *Natural Gas Industry*, 2022, 42(7): 125-134.
- [12] 王杰, 陈践发, 王铁冠, 等. 松辽盆地双城-太平川地区天然气成因类型及气源[J]. 石油学报, 2006, 27(3): 16-21.
WANG Jie, CHEN Jianfa, WANG Tieguan, et al. Gas source rocks and gas genetic type in Shuangcheng-Taipingchuan Area of Songliao Basin[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2006, 27(3): 16-21.
- [13] 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. 氦资源的新类型: 沉积壳层幔源氦的工业储集[J]. 中国科学(D辑), 1996, 26(1): 1-8.
XU Yongchang, SHEN Ping, TAO Mingxin, et al. Geochemistry of mantle-derived volatiles in natural gas in the eastern oil and gas regions: I. a new type of helium resource: industrial accumulation of mantle-derived helium in sedimentary crust[J]. *Science in China(Series D)*, 1996, 26(1): 1-8.
- [14] 李玉宏, 周俊林, 张文, 等. 渭河盆地氦气成藏条件及资源前景[M]. 北京: 地质出版社, 2018.
- [15] 秦胜飞, 李济远, 梁传国, 等. 中国中西部富氮气藏氮气富集机理: 古老地层水脱氮富集[J]. 天然气地球科学, 2022, 33(8): 1203-1217.
QIN Shengfei, LI Jiyuan, 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]. *Natural Gas Geoscience*, 2022, 33(8): 1203-1217.
- [16] 秦胜飞, 窦立荣, 陶刚, 等. 氦气富集理论及富氮资源勘探思路[J]. 石油勘探与开发, 2024, 51(5): 1160-1174.
QIN Shengfei, DOU Lirong, TAO Gang, et al. Helium enrichment theory and exploration ideas for helium-rich gas reservoirs[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2024, 51(5): 1160-1174.
- [17] 洪太元, 程喆, 郭元岭, 等. 含油气盆地勘探突破速度及其主控因素分析[J]. 中国矿业, 2025, 34(5): 257-263.
HONG Taiyuan, CHENG Zhe, GUO Yuanling, et al. Analysis on exploration breakthrough speed and its main controlling factors in petroliferous basin[J]. *China Mining Magazine*, 2025, 34(5): 257-263.
- [18] 赵泱泱, 侯贺晟, 安栋召, 等. 中国东北松辽盆地沙河子组分段特征及地质意义: 对陆相含油气沉积盆地的启示[J]. 中国矿业, 2024, 33(12): 269-279.
ZHAO Yangyang, HOU Hesheng, AN Dongzhao, et al. Segmental characteristics and geological significance of the Shahezi Formation of the Songliao Basin, NE China: implications for terrestrial hydrocarbon-bearing sedimentary basins[J]. *China Mining Magazine*, 2024, 33(12): 269-279.
- [19] 秦胜飞, 周国晓, 李济远, 等. 氦气与氮气富集耦合作用及其重要意义[J]. 天然气地球科学, 2023, 34(11): 1981-1992.
QIN Shengfei, ZHOU Guoxiao, LI Jiyuan, et al. The coupling effect of helium and nitrogen enrichment and its significance[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2023, 34(11): 1981-1992.
- [20] 周起忠, 闫卫东, 胡容波, 等. 全球氦气供需形势分析与展望[J]. 中国矿业, 2025, 34(2): 493-502.
ZHOU Qizhong, YAN Weidong, HU Rongbo, et al. Analysis and outlook of the global helium supply and demand situation[J]. *China Mining Magazine*, 2025, 34(2): 493-502.