

doi: 10.12029/gc20220505

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[J]. 中国地质, 49(5): 1427–1437.

Jia Lingxiao, Ma Bing, Wang Huan, Yu Yang, Xu Jiajia, Chen Jing, Xing Jiayun. 2022. Progress and utilization status of global helium exploration and development[J]. Geology in China, 49(5): 1427–1437(in Chinese with English abstract).

全球氦气勘探开发进展与利用现状

贾凌霄¹, 马冰¹, 王欢¹, 于洋¹, 徐佳佳¹, 陈静², 邢佳韵³

(1. 中国地质调查局地质文献中心, 中国地质图书馆, 北京 100083; 2. 自然资源部信息中心, 北京 100036; 3. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037)

摘要:【研究目的】由于氦气具有独特的物理特性, 在科学研究、医学和高科技行业的用途越来越广泛。寻找更多的氦气资源, 满足市场需求, 是地质行业的责任。【研究方法】按照统计分析原则, 对全球氦气勘探成果与供需形势进行梳理、总结。【研究结果】全球氦气资源分布极不均匀, 主要氦气供应国为美国、卡塔尔、俄罗斯等。近期, 许多公司开始在北美地区、俄罗斯、卡塔尔、坦桑尼亚等地开展氦气的勘探开发, 其中北美部分地区的氦气资源位于富含氦气的储层中, 具有广阔的开发前景, 全球氦气勘探活动掀起新一轮热潮。【结论】2021 年全球氦市场出现供应缺口, 当今全球氦气需求的增长开始转向亚洲和中东。建议高度重视氦气不可再生性和不可替代性, 开展氦气资源潜力评价工程, 勘查国内非烃类氦气矿床前景, 加强国际合作, 开展国内氦气储备地下空间评价与选址工作, 增强中国的氦气储备能力。

关键词: 氦气; 勘探开发; 矿床类型; 天然气; 富氮储层; 资源形势; 市场需求; 储备能力; 矿产勘查工程; 全球

创 新 点: (1) 氦气作为新兴的矿产资源, 开始成为全球矿产勘探开发的新热点; (2) 北美部分地区的富氮储层中氦气含量较高, 根据目前的勘探与研究成果, 具有广阔的开发前景。

中图分类号: P618.13 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2022)05-1427-11

Progress and utilization status of global helium exploration and development

JIA Lingxiao¹, MA Bing¹, WANG Huan¹, YU Yang¹, XU Jiajia¹, CHEN Jing², XING Jiayun³

(1. Geoscience Documentation Center, CGS, National Geological Library of China, Beijing 100083, China; 2. Information Center of Ministry of Natural Resources, Beijing 100036, China; 3. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract: This paper is the result of mineral exploration engineering.

[Objective] Helium is more and more widely used in scientific research, medicine and high-tech industries because of its unique physical properties. It is the responsibility of the geological industry to find more helium resources to meet the market demand. **[Method]** According to the principle of statistical analysis, the global helium exploration results and supply and demand

收稿日期: 2022-02-23; 改回日期: 2022-09-12

基金项目: 中国地质调查局项目(DD20221822)资助。

作者简介: 贾凌霄, 女, 1990 年生, 助理研究员, 从事矿产资源管理研究; E-mail: jialingxiao@mail.cgs.gov.cn。

通讯作者: 马冰, 女, 1967 年生, 研究员, 从事矿产资源管理研究; E-mail: mabing@mail.cgs.gov.cn。

situation are sorted and summarized. **[Results]** The distribution of helium resources in the world is extremely uneven. The main helium suppliers are the United States, Qatar, Russia and so on. Recently, many companies have begun to carry out helium exploration and development in North America, Russia, Qatar and Tanzania. Helium resources in some parts of North America are located in nitrogen rich reservoirs and have broad development prospects. Global helium exploration activities have set off a new upsurge. **[Conclusion]** In 2021, there was a supply gap in the global helium market, and the growth of global helium demand began to shift to Asia and the Middle East. It is suggested to pay great attention to the non-renewability and irreplaceability of helium, carry out helium resource potential evaluation project, explore the prospect of domestic non hydrocarbon helium deposits, strengthen international cooperation, carry out underground space evaluation and site selection of domestic helium reserves, and enhance China's helium storage capacity.

Key words: helium; exploration and development; deposit type; natural gas; nitrogen rich reservoir; resource situation; market demand; reserve capacity; mineral exploration engineering; global

Highlights: (1) Helium, as an emerging mineral resource, began to become a new hotspot in global mineral exploration and development. (2) Nitrogen rich reservoirs in some parts of North America have high helium content. According to the current exploration and research results, they have broad development prospects.

About the first author: JIA Lingxiao, female, born in 1990, assistant research fellow, engaged in mineral resources management research; E-mail: jialingxiao@mail.cgs.gov.cn.

About the corresponding author: MA Bing, female, born in 1967, research fellow, engaged in mineral resources management research; E-mail: mabing@mail.cgs.gov.cn.

Fund support: Supported by the project of China Geological Survey (No.DD20221822).

1 氦气的重要作用 and 地位

1.1 氦气的重要作用

氦(He)气是自然界沸点最低(-268.95℃)的物质,具有无色、无味、不可燃烧等特征,属于强化学惰性气体,在高科技行业有着很高的应用价值。从用于新型低成本火箭和半导体制造业的显著增长到核聚变的进步,再到互联网基础设施的升级,以及用离子束靶向癌细胞的新疗法,氦气独特的物理特性使其对我们的现在和未来越来越重要。氦气是现代多数高科技产业中不可替代的重要元素,被称为“黄金气体”(表1)。

1.2 氦气的重要地位

近年来,国际上发达国家开始审视氦气的地位,氦被多个发达国家列入“关键矿产清单”。2018年,氦被列入美国关键矿产清单(USGS, 2018;《中国地质》编辑部, 2018;刘帅, 2019;王欢等, 2021),考虑到美国目前是世界上最大的氦生产国和净出口国,在更新的2021年关键矿产草案清单上,氦从美国关键矿产名单中被移除(National Archives, 2021)。但鉴于美国氦产量的逐渐下降,咨询公司 Kornbluth Helium Consulting 认为氦应列入2021年

表1 氦气的性质与应用(据 Edison, 2021)
Table 1 Properties and applications of helium (after Edison, 2021)

性质	应用
具有最低沸点;在大气压下不会凝固	低温超导体的液体冷却 吹扫液氢系统
世界上第二轻的元素(仅次于氢)	气球、飞艇的起重介质
最小的分子尺寸	泄漏检测
化学惰性	运载气体、半导体
非常高的比热和导热系数	气体冷却——光纤
放射性惰性(无放射性同位素)	聚变反应堆中的传热介质
最高电离电位	金属电弧焊接——铝 等离子弧焊接——钛
极低溶解度	深海潜水气体
极高声速	金属涂层
低于2.2开尔文(K)的超流体	低温超导体的冷却

关键矿产清单,以突出其对美国关键产业的重要性(Phil Kornbluth, 2021a)。欧盟每3年发布一次关键矿产清单,氦出现在2017年欧盟的关键矿产清单中,考虑到由于其经济重要性的下降,欧盟在2020年清单中取消了氦(王欢, 2021)。但鉴于氦与一系列新兴数字技术(例如计算机、通讯设备、电子产品等)应用相关,欧盟委员会指出将继续密切监测氦

(European Commission, 2021)。2019年,澳大利亚政府将氦列为关键矿产。根据《加拿大矿产和金属计划》(CMMP)的规定,加拿大政府2021发布的关键矿产清单中也包括氦(Canada Government, 2021; 张照伟等, 2021; 李文渊等, 2022)。氦气在日本全部依赖进口,2021年12月,由于海上运输停滞等影响,供应跟不上旺盛需求,东京迪士尼度假区停止销售氦气球,以保证优先供应半导体产业(中新经纬, 2021)。

早在20世纪初期,美国就将保护氦气资源提上日程,并将其定位为联邦储备资源。美国土地管理局(BLM)管理着世界上唯一的大型氦储存设施(图1)。美国联邦氦气计划(Federal Helium Program)包含:(1)联邦氦气储备;(2)向Cliffside气田的Bush穹顶构造中注入粗氦(图1),以储存与政府氦保护计划有关的氦,预测在生命周期内可注入约16.7亿 m^3 的粗氦(含11.8亿 m^3 的氦);(3)根据内政部长签署的合同,拥有、租赁或管理的所有其他基础设施,用于氦的储存、运输、提取、浓缩、净化或管理(BLM, 2021)。

1996年以前,美国国会授权联邦政府保留持有氦储备。1996年,美国国会通过了《氦私有化法案》,要求政府使用严格的价格公式出售其氦储备。从2002年起,联邦储备大幅减少,从2003年初的8.2亿 m^3 减少到2020年底的约7.1亿 m^3 。根据

《2013年氦管理法》,土地管理局必须在2021年9月30日之前将其剩余氦资产私有化。2019—2021年,联邦氦气储备几乎耗尽,仅售出不到0.14亿 m^3 。由于没有任何重大的新供应上线,这导致了全球市场的紧张。

1.3 全球氦气勘探热潮

氦气属于不可再生资源,全球氦气需求的复合年平均增长率(CAGR)约为3%(Directors Talk, 2021)。国际氦气市场在过去10年(2011—2021年)中反复出现供应短缺的现象,氦短缺2.0(2011—2013年)和3.0(2018年第1季度至2020年第1季度)经常受到媒体的关注,同时将氦价格推高。因此,许多具有石油和天然气勘探或采矿背景的企业家开始关注氦,成立了氦勘探公司,或将现有公司转向氦勘探,还有一些小型初创公司对氦气勘探产生了前所未有的兴趣。

据外媒《Gasworld》报道,近期估计有30家或更多的初创公司主要在美国西南部、加拿大萨斯喀彻温省和阿尔伯塔省、坦桑尼亚、澳大利亚和南非从事氦勘探。这30多家参与全球氦气勘探热潮的初创公司,一些已经成功地筹集了大量资金,大多数已经获得了勘探氦的租赁权,一些已经开始钻探,还有少数几家实际上正在生产氦。这些公司中大约有10家已经上市交易。几乎所有这些公司都在积极寻求额外投资(Phil Kornbluth, 2021b)。

2 全球氦气资源状况

2.1 氦气矿床类型

目前发现的氦气矿床主要有两种:(1)烃类天然气的伴生矿,作为天然气加工或液化天然气(LNG)生产的副产品生产;(2)位于富氮天然气储层中的氦气田。

目前全世界约95%的氦供应是作为天然气加工或液化天然气(LNG)生产的副产品生产的。从天然气中提取的氦的来源主要包括两种:一是由地球地壳花岗岩类岩石中铀和钍的放射性衰变形成(壳源氦);二是地球深部地幔中赋存的原始氦,通过脱气作用释放到浅层沉积储层中(幔源氦)(Nicole et al., 2017; Don, 2019; Ehime University, 2021)。天然气源必须含有至少0.3%的氦,才能被视为潜在的氦源。含氦天然气矿床的形成一般具

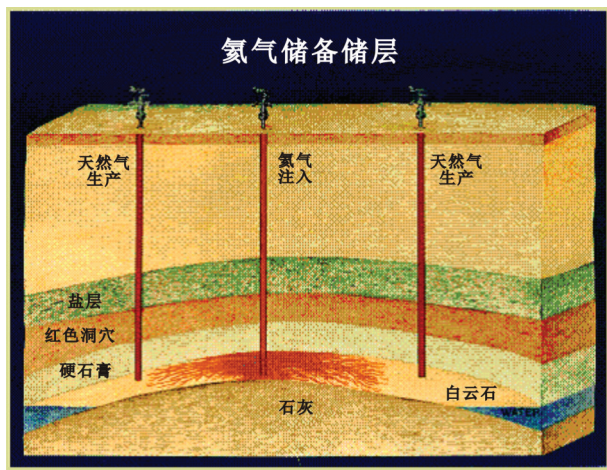


图1 美国Cliffside气田氦气储备储层——Bush穹顶(据 Robert Jolley, 2016)

Fig.1 Helium reserve reservoir of cliffside gas field in the United States——Bush dome (after Robert Jolley, 2016)

备3个条件:(1)花岗岩基底岩石富含铀和钍,或存在原始氦源;(2)基底岩石断裂,或发生脱气作用,为氦提供了逃逸通道或释放途径;(3)多孔沉积岩被不透水的岩盐或硬石膏封盖。当这3个条件都满足时,氦可能会积聚在多孔沉积岩层中。氦作为一种非常轻的气体,它具有浮力,一形成就向上移动,直到它与天然气一起被困在硬石膏或盐层下面,世界上只有少数几个地方具有这种地质条件(图2),因此含氦天然气矿床在全球分布较为罕见(Hobart, 2022)。

地下也有一些富含氮的储层,其中氮气的浓度相当高(已发现最高可达10%),位于深部圈闭中。新发现表明北美部分地区具有此类储层巨大的氮气开发潜力,储层中氮气含量为70%以上,部分高达90%;其余气体为氦气,少量的二氧化碳和少量的烃类气体(Desert Hill Energy Corp., 2021)。相对于目前全球从烃类天然气中提取氮,从这类富氮储层中开发和生产氮气将使CO₂当量排放量减少约99%,因此属于“绿色氮”。国际上最近开始的大多数氮气勘探开发活动都集中在这种富氮非烃气体上(Phil Kornbluth, 2021b)。

2.2 全球氮气的资源分布

目前研究资料表明全球氮气资源分布极不均匀,全球氮气总资源量约为519亿m³,主要分布在美国、卡塔尔、俄罗斯、阿尔及利亚等国,其氮气资源

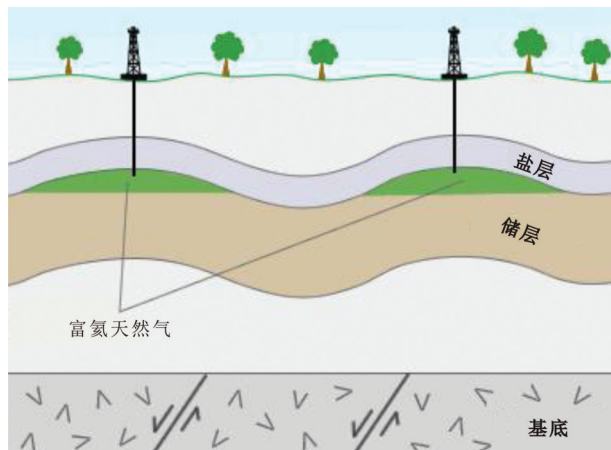


图2 美国含氦天然气田的矿床模型
(据Hobart, 2022)

Fig.2 Deposit model of helium bearing natural gas fields in the United States(after Hobart, 2022)

量占全球总资源量的90%以上(Peterson, 2020),主要氮气矿床所在国家和氮气资源量是:美国206亿m³;卡塔尔101亿m³;阿尔及利亚82亿m³;俄罗斯68亿m³;加拿大20亿m³(USGS, 2021)。

美国是目前世界上最大的氮气资源国。美国最重要的两个氮气源是位于德克萨斯州、俄克拉荷马州和堪萨斯州的中部大陆Hugoton Panhandle气田综合设施,其大部分产量都与氮气管道和Bush穹顶相连;以及位于怀俄明州西南部的Riley Ridge气田(埃克森美孚公司所有)。其他氮气源包括位于怀俄明州的Rands Butte(Cimarex Energy公司所有)和位于亚利桑那州的St John's气田(Enhanced Oil Resources公司所有)等。

卡塔尔所有天然气基本上都位于北部气田(North Field),北部气田是世界上最大的非伴生天然气田。尽管北部气田氮气含量较低,但储层规模巨大,预计具有较大的氮气资源规模(Qatargas, 2021)。阿尔及利亚的氮气来自哈西·雷梅尔气田(Hassi R'Mel field)生产液化天然气(LNG)的副产品,该气田占阿尔及利亚天然气出口量的60%。俄罗斯拥有世界上最大的天然气储量,氮浓度较高的气田大部分集中在东西伯利亚和远东地区。

2.3 中国氮气资源与勘查现状

中国对氮气资源的价值开始关注较晚,评价与勘探程度较低。现有资料表明中国在四川盆地、塔里木盆地、柴达木盆地、鄂尔多斯盆地、渭河盆地、松辽盆地等地区已发现一些富氮、高氮天然气藏,一些地区的地热井和温泉中也发现一些氮气资源(陶小晚等, 2019)。

四川盆地的威远气田是中国至今唯一实现氮气商业生产的地区,氮气产层为震旦系灯影组,平均氮气含量达0.2%(Ni et al., 2014),于1964年被发现,氮气储量估计值为8000万m³。近年来研究发现四川盆地天然气藏中的氮气含量变化范围较大,富氮天然气主要赋存在震旦系中,上覆地层氮气含量均小于0.1%(张阳等, 2019)。

塔里木盆地发现了一些天然气田氮含量较高,预示着塔里木盆地可能具有良好的氮资源潜力。区域内氮气资源主要分布于塔北隆起,巴楚隆起和塔中隆起,其中塔北地区沙13井氮气含量可高达2.19%。

2013年起,中国地质调查局通过调查评价认

为,陕西渭河盆地具备良好的氦气资源潜力。渭河盆地新生界地热井广泛分布氦气资源,其中渭深13井中氦气含量高达2.13%~4.14%,区内有63口井气体样品的氦气含量大于1%,最高达9.23%。

中国的氦气资源分布虽然点多、面广,但目前国内多侧重于氦气同位素地球化学特征研究,对氦气资源的评价工作还比较欠缺,对天然气藏中氦含量的分析方法和标准还不够规范,国内氦气资源整体探明程度比较低。目前中国氦气自给能力很低,氦气供应基本依赖进口(陈践发等,2021;秦胜飞,2021;刘贵洲,2021)。

3 世界氦气供需现状

3.1 全球氦气主要供应来源

目前全球氦气供应集中在少数几个国家(表2)。根据USGS的统计数据,2019年全球氦气总产量为1.6亿 m^3 ,2020年全球氦气总产量估计值为1.4亿 m^3 ,美国目前是最大的氦气生产国,2020年氦气产量占全球产量的43.6%,卡塔尔、阿尔及利亚、俄罗斯等国是世界主要氦气生产国(USGS,2021)。

3.1.1 美国

Hugoton Panhandle(H-P)综合设施:H-P综合设施包括美国最大的气田之一Hugoton、Pandhandle West和一些小气田(包括Panoma、Keyes和Greenwood),分布在堪萨斯州、俄克拉荷马州和得克萨斯州。该综合设施通过管道连接到一系列氦提取厂和BLM储备层。这些气田的氦浓度很高(0.3%~1.9%),多年来一直是美国氦供应的重要贡献者;然而,根据主要Hugoton气田的天然气生产数

表2 世界氦气年度生产量(USGS,2021)
Table 2 Annual production of helium in the world (USGS, 2021)

国家	2019/百万 m^3	2020/百万 m^3
美国(从天然气中提取)	68	61
美国(来自Cliffside气田)	21	13
卡塔尔	45	45
阿尔及利亚	14	14
俄罗斯	5	5
澳大利亚	4	4
波兰	1	1
加拿大	<1	<1
中国	NA	NA
世界总产量(四舍五入)	160	140

注:e表示估计值,NA表示无数据。

据(来源堪萨斯州地质调查局),2011—2021年天然气产量平均下降了6%。

La Barge气田:La Barge是怀俄明州的一个大型天然气田,氦浓度相对较高(0.6%),氦气生产能力为4100万 m^3/a ,对全球需求贡献巨大(>20%)。

美国其他氦气潜力供应区:美国西南部正在开发新的氦源(从非烃天然气储层中提取氦),特别是在四角地区(犹他州、科罗拉多州、新墨西哥州和亚利桑那州的交汇处),那里天然气中的氦浓度高达10%。

3.1.2 卡塔尔

卡塔尔2020年氦生产量占全球产量的32.1%,为全球第二大氦生产国。Ras Laffan氦-1和氦-2的综合产能目前为6200万 m^3/a (合并)。Ras Laffan氦-3最初计划于2018年开始生产,产能为1100万 m^3/a ,目前由于疫情,推迟了该工厂的启动。

2021年2月8日,卡塔尔石油公司宣布批准North Field East(NFE)项目,为世界上最大的液化天然气项目(Offshore Technology,2021)。作为NFE项目的一部分,将在Ras Laffan新建第四座氦工厂,计划每天生产20 t纯氦(相当于约4100万 m^3/a)。

3.1.3 俄罗斯

俄罗斯2020年氦生产量占全球产量的3.6%。国际机构预测,到2025年,阿穆尔(Amur)天然气的大规模开发有可能使俄罗斯从一个小型氦生产国成为全球第二大氦生产国。阿穆尔氦气的90%将在30年内出口到中国,分期开发可生产高达6000万 m^3/a 的氦气(Edison,2021)。

3.1.4 阿尔及利亚

阿尔及利亚2020年氦生产量占全球产量的10%。目前哈西·雷梅尔气田在Arzew和Skikda的两个工厂具有氦提取能力。生产能力均为1700万 m^3/a ,但目前均未满负荷运行。Enerdata预测,阿尔及利亚未来几年氦气产量可能基本持平。

3.1.5 波兰

波兰是全球氦的较小生产国之一,但也是欧洲唯一的氦生产国。波兰地质研究所(Polish Geological Institute)称,该国有16个氦气田,2019年产量为69万 m^3 。波兰地质研究所数据显示该国的氦产量将逐年下降。

3.1.6 加拿大

加拿大目前已经探明的氦矿床通常位于富含

氮气的储层中,并伴随着少量的二氧化碳或其他气体,位于深部圈闭中,提取和液化成本更低,因此加拿大的氦勘探可能非常有前景。

3.1.7 澳大利亚

澳大利亚自2010年以来,林德集团的成员BOC在达尔文有一家氦生产厂,其氦产量约为400万m³/a。澳大利亚拥有非常大的天然气储量,有几个液化天然气出口设施在建或拟建。Greater Sunrise (Bonaparte盆地), Ichthys (Browse盆地)和Goodwyn-North Rankin North West Shelf Venture (Northern Carnavon盆地)天然气藏在氦提取方面的潜在未开发价值高于澳大利亚在达尔文的唯一商业陆上氦提取设施。估计从澳大利亚液化天然气中氦气回收总量为16.7亿m³。因此,澳大利亚增加氦气产量的机会很大。

3.2 全球氦气需求与趋势(图3)

2020年3月底,疫情导致全球经济衰退,边境关闭,破坏了全球氦的需求和供应,导致氦业务从供应紧张转为供应过剩。但2021年氦市场仍然供不应求。据加拿大雷神资源公司(Thor Resources

Inc.)发布的数据,目前全球每年大约使用1.93亿m³的氦,其中近1/3的氦用于低温目的(图4),如磁共振成像(MRI)(Thor Resources Inc., 2021)。“gasworld”2021年9月报道,对2021年全球氦供应量的评估约为1.67亿m³(Molly Burgess, 2021),供应缺口达约0.26亿m³。

当今全球氦气需求的增长已经转向东南亚的中国、印度、韩国和中东,特别是在核磁共振成像(MRI)扫描仪、电子和光纤等领域。在电子领域,半导体是一个特别有趣的增长领域;对半导体芯片的需求正在增加,每个芯片所需的氦量也在增加(这提高了处理速度)。电子产品占全球氦需求的15%,高于10年前的1%。数据存储是另一个增长领域;当硬盘驱动器磁盘旋转时,氦气允许更少的湍流,从而降低功耗,并允许在同一空间中容纳更多的磁盘。太空旅行也是一个有趣的增长领域;氦用于太空火箭。越来越多的国家正在开发太空计划(包括美国、俄罗斯、印度、中国和欧盟国家)(Edison, 2021)。预计氦气需求将以3%~9%的复合年增长率增长(Thor Resources Inc., 2021)。

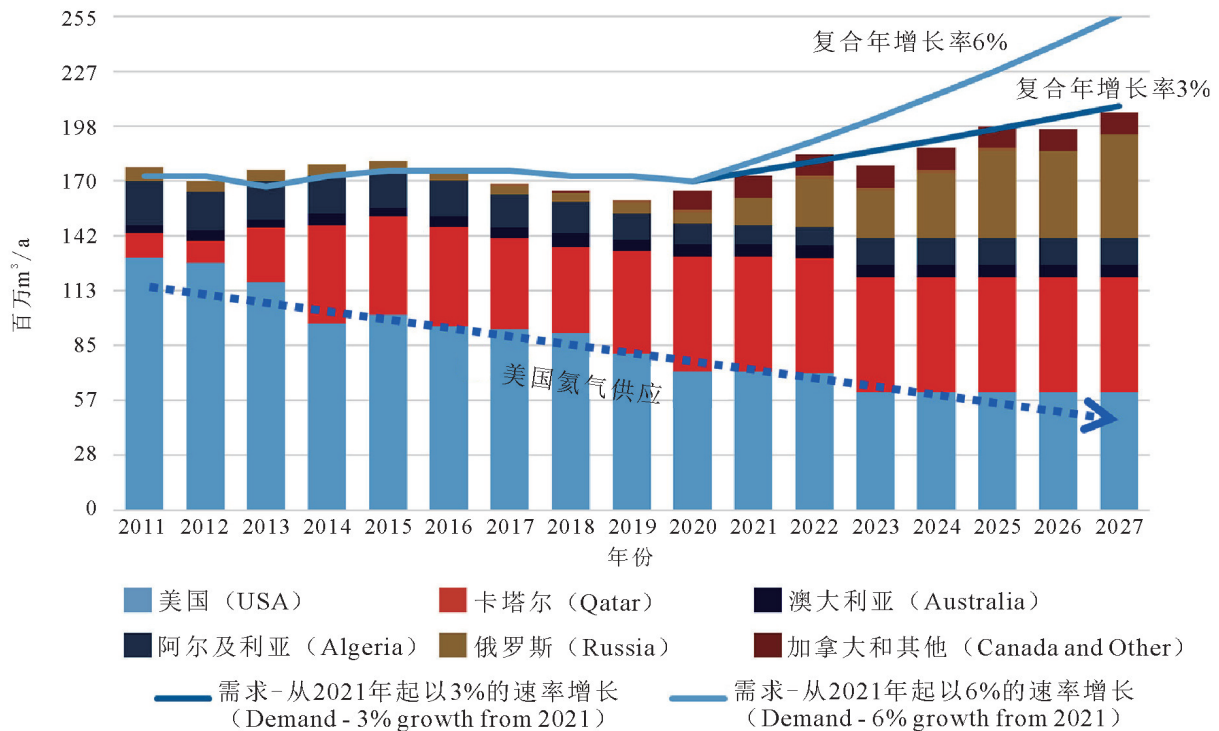


图3 氦的需求正在增长,而美国的供应继续下降(据 Global Helium, 2021a)

Fig.3 Helium demand is increasing while US supply continues to decline (after Global Helium, 2021a)

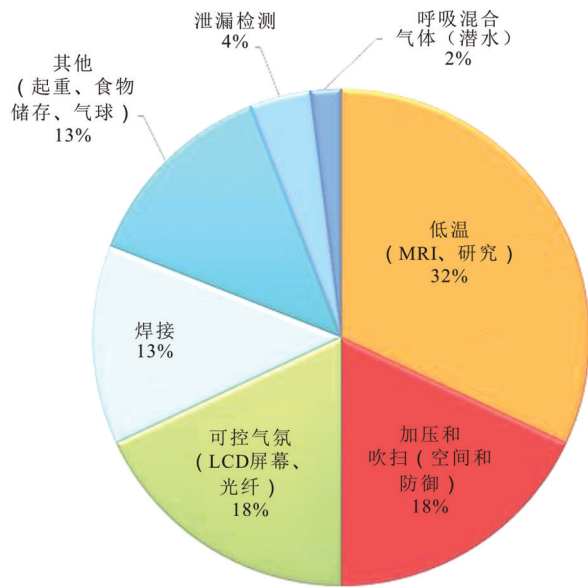


图4 全球氦气应用领域占比(据 Thor Resources Inc., 2021)
Fig.4 Proportion of helium applications in the world(after Thor Resources Inc., 2021)

4 国外氦气勘查与开发进展

4.1 北美地区

最近,新发现表明加拿大萨斯喀彻温省、阿尔伯塔省和美国蒙大拿州、亚利桑那州等地区具有巨大的氦气开发潜力,此类氦气田主要位于充氮储层中,具有小的环境足迹(environmental footprint)和低排放,因此这将是北美地区氦气生产新的增长领域。北美地区多家公司目前正在积极开展本土的氦气勘探工作。

4.1.1 北美氦气公司

北美氦气公司(NAH)在萨斯喀彻温省圈定了含氦构造,建立了一个大型的氦气远景区,面积超过2万 km^2 。北美氦气公司在萨斯喀彻温省目前已启动两座氦气生产设施,分别位于Cypress油田(2020年7月投产)和Battle Creek油田(2021年5月投产),两座工厂的总氦生产能力约为每年167万 m^3 。北美氦气公司最近在萨斯喀彻温省Cypress West地区发现了一个新的氦矿藏,并正在着手建设第3个氦生产设施,预计2022年投产。目前北美氦气公司已经为非烃氦靶区钻探了30口勘探和开发井,在萨斯喀彻温省和犹他州都有勘探计划(NAH, 2021)。

4.1.2 皇家氦气公司

皇家氦气公司(Royal Helium)在加拿大萨斯喀彻温省南部目前拥有超过4000 km^2 的氦气远景区。皇家氦气公司的前两个钻井区块集中在两个地区,一个位于萨斯喀彻温省西南部(Climax),另一个位于萨斯喀彻温省中南部(Bengough)。2019年末,公司划定了约30.94 km^2 的四向结构闭合(four-way structural closure)基底构造,确定了Climax的7个钻探目标。2021年1月,皇家氦气公司Climax地块的首次钻探计划启动,测试结果显示,Deadwood、Souris River和Duperow地层的氦浓度为0.33%~0.64%。随后,在Climax-3井的基底Deadwood“表土”中发现了一个以前未知的含氦层序,总面积为32 km^2 ,总氦储量估计值为0.71~1.7亿 m^3 。

4.1.3 帝国氦气公司

帝国氦气公司(Imperial Helium)在加拿大阿尔伯塔省东南部的Stevenville氦气勘探项目正在按计划进行,在整个Stevenville构造上拥有246.35 km^2 的矿权。

帝国氦气公司 ICH- Steville-2 和 IHC- Steville-1 井生产测试气流达到16.7万 m^3/d ,氦气含量达0.63%,其余为3.5%的甲烷、8%的二氧化碳和87.87%的氮气,目标是在2022年第四季度实现首次氦气商业性生产(General Imperial, 2021)。

4.1.4 全球氦气公司

全球氦气公司(Global Helium)2021年10月宣布在萨斯喀彻温省南部完成了一系列收购,拥有的土地面积超过4000 km^2 ,该土地位于萨斯喀彻温省著名的“氦通道(helium fairway)”,氦浓度较高(大于2%)。全球氦气公司最近整合了2021年收购和购买的地震数据,并确定了至少5个重要储氦地质构造(GlobeNewswire, 2021)。全球氦气公司目前在加拿大拥有3个核心区域:(1)核心区一(Swift Current)占地约3076 km^2 ,AVO分析表明含氦气的四向闭合构造面积达68.8 km^2 。(2)核心区二(Regina)占地870 km^2 ,钻井测试结果显示氦浓度达1.4%~2.45%。(3)核心区三(Montana Border)占地面积超过870 km^2 (Global Helium, 2021b)。

4.1.5 阿凡提能源公司

阿凡提能源公司(Avanti Energy)是一家寻找氦的新公司,已经在阿尔伯塔省和蒙大拿州购置了大约303.5 km^2 的矿业权。先前的钻井结果显示在泥

盆地和寒武纪目标区氦含量高达2%,氮含量高达96%。对10个构造中的7个构造进行的技术解释表明可回收氦资源潜力估计值为0.4~2.5亿m³。2021年10月,该公司与T & S Drilling公司签订合同,计划在2021年12月初在蒙大拿州北部开钻,开展进一步的氦气勘探(Molly Burgess, 2021a)。

4.1.6 沙漠山能源公司

沙漠山能源公司(Desert Hill Energy Corp.)的霍尔布鲁克(Holbrook)盆地项目包括超过344 km²的氦远景区,位于亚利桑那州中东部霍尔布鲁克盆地。被称为“氦的沙特阿拉伯”,历史产量为2.6亿m³,氦气含量达8%~10%。采样结果显示井State 10-1气流速率为6.9亿m³/d,氦气含量为7.1%;井State 16-1气流速率为3500万m³/d,氦气含量为4.1%。2021年,沙漠山能源公司进行了钻井、试井等一系列工作,完成了氦精加工厂(Helium Finishing Plant)的工程设计和建设(Desert Hill Energy Corp., 2021a)。

4.2 俄罗斯

随着氦需求的持续增长,世界上最大的氦容器维修物流中心于2021年9月初在俄罗斯投产。该氦容器维修物流中心由俄罗斯天然气工业股份公司(Gazprom)拥有并运营,将通过低温容器将阿穆尔(Amur)天然气处理厂(GPP)生产的液氦输送至更广阔的氦市场,预计2025年将达到其全部氦气设计产能,为6000万m³/a。目前该中心的整个流程链(从阿穆尔天然气处理厂生产氦气到向消费者输送氦气)都已启动并投入运行(Gazprom Information Directorate, 2021)。

4.3 卡塔尔

卡塔尔是另一个有望增加氦气产量的国家。卡塔尔拉斯拉凡(Ras Laffan)氦生产运营商卡塔尔天然气公司(Qatargas)拥有氦-1和氦-2工厂,分别于2005年和2013年开始运营。2021年,Qatargas开设了氦-3工厂,当氦-3工厂达到满负荷时,Qatargas将占世界氦产量的约35%,总产能为每年7400万m³(Omid Shokri Kalehsar, 2021)。

4.4 坦桑尼亚

4.4.1 第一氦气公司(Helium One)

2021年,第一氦气公司(Helium One)已在坦桑尼亚西南部Rukwa项目的Tai-2探井开始钻井作业。第一氦气公司持有Rukwa许可证100%的所有权,该许

可证覆盖面积约3590 km²,最佳无风险潜在可回收(Best-Estimate Unrisked Prospective Recoverable)氦气资源量为39.1亿m³。第一氦气公司已根据高分辨率航空重力测量和长度为1100 km重新处理的地震剖面数据确定了21个氦气前景区和4个氦气线索(Helium lead)。地表渗漏中记录到的氦浓度高达10.2%(Josh White, 2021; Helium One, 2021)。

4.4.2 全球氦气公司(Global Helium)

坦桑尼亚裂谷盆地(Rift Basins)地质背景独特,可能是世界上最好的未经验证的氦发电系统之一。全球氦气公司(Global Helium)在坦桑尼亚裂谷盆地拥有非常重要的勘探区,目前已经完成了基础勘探工作,2022年有望开始钻探(Molly Burgess, 2021)。

5 启示与建议

氦气在高科技行业有着很高的应用价值,曾被多个发达国家列为关键矿产。目前的研究表明全球氦气资源分布极不均匀,主要分布在美国、卡塔尔、俄罗斯、阿尔及利亚等国,其氦气资源量占全球总资源量的90%以上。目前全世界约95%的氦供应是作为天然气加工或液化天然气(LNG)生产的副产品生产的。近期在北美地区发现一些富含氮的储层中氦气浓度较高,国际上最近大多数氦气勘探开发活动都集中在这种非烃气体上。2021年全球氦市场出现供应缺口,预计今后全球氦气需求将持续增加,近期世界范围内出现了氦气勘探开发的新热潮。中国氦气资源整体探明程度比较低,目前国内氦气供应严重依赖进口,为保障中国矿产品供应安全和发展需求,提出以下建议:

(1)高度重视氦气不可再生性和不可替代性。氦气具有独特的化学和物理特性,在民用和高科技领域具有不可替代的广泛用途。中国目前对氦气的需求随着科技发展愈来愈高,但中国目前尚未形成自己的氦气工业,氦气对外依存度较高。将氦气加以重视,可在资源配置、财政和科研投入等方面加强引导和管理,提升氦气的开发利用水平,保障中国新兴产业的发展需求。

(2)对中国天然气资源开展氦气资源潜力评价工程。现有资料表明,中国氦气资源整体探明程度比较低,其真正的资源规模和分布需要进一步深入

研究。另外目前国内对氦气资源评价和研究工作欠缺,对天然气藏中氦含量的分析方法和标准还不够规范。因此中国应加强和进一步开展相关的氦气资源潜力评价工作。

(3)借鉴北美地区的经验,尽快开展国内非烃类天然气中氦气资源潜力的勘查评价工作。相对于从传统烃类天然气中提取氦气,非烃类氦气矿床开发和生产可降低碳排放量,在当前绿色经济转型背景下具有较大优势。因此可谋划开展国内非烃类氦气矿床的勘探工作。

(4)加强国际合作。目前美国、卡塔尔、俄罗斯等国是主要的氦气供应国,加拿大正在加大非烃类氦气矿床的勘探开发力度,是潜在的氦气供应国。我们应该加强跟俄罗斯和中东等国家的合作,拓宽氦气进口渠道;同时借鉴先进的氦气勘察经验,保障我国的氦气供给安全。

(5)加强中国的氦气储备能力。地球上的氦气含量极为稀少,加强氦气储备能够有效应对国内外复杂多变的矿产品市场,中国应主动借鉴美国氦气储备库建设的成功历史经验,开展氦气储备地下空间评价与选址工作,建设氦气储备基础设施,提升氦气储备能力与水平。

6 结 论

(1)全球氦气总资源量约为519亿 m^3 ,2019年全球氦气总产量为1.6亿 m^3 ,2020年全球氦气总产量估计值为1.4亿 m^3 ,2021年全球氦气供应量估计值为1.67亿 m^3 ;氦气目前的市场需求量约为1.93亿 m^3/a ,全球氦气市场处于供不应求的状态,供应缺口比较大。

(2)氦气不可再生。可供开采氦气储层中的氦气来源主要包括壳源氦和幔源氦,目前发现的氦气矿床主要有两种:①烃类天然气的伴生矿,作为天然气加工或液化天然气(LNG)生产的副产品生产;②位于富氮天然气储层中的氦气田,国际上最近开始的大多数氦气勘探开发活动都集中在这种富氮非烃气体上。目前全世界约95%的氦供应是作为天然气加工或液化天然气生产的副产品生产的。含氮天然气矿床的形成需要特殊的地质条件,在全球分布较为罕见。目前研究表明全球氦气资源主要分布在美国、卡塔尔、俄罗斯、阿尔及利亚等国,

其氦气资源量占全球总资源量的90%以上。

(3)氦气在高科技行业具有很高的应用价值,曾被多个发达国家列入“关键矿产清单”,美国将氦气定位为联邦储备资源。预计氦气需求将以3%~9%的复合年增长率增长,国际氦气市场在2011—2021的10年中反复出现供应短缺的现象,全球氦气勘探掀起新一轮热潮。中国氦气资源整体探明程度比较低,氦气供应对外依存度高,建议加大氦气探采力度,满足社会需求。

References

- Advameg Inc. 2021-11-09/2022-01-05. Made how: Helium[EB/OL]. <http://www.madehow.com/Volume-4/Helium.html#ixzz7BhY0tbi3>.
- Alain Prinzhofer, Cheick Sidy Tahara Cissé, Aliou Boubacar Diallo. 2018. Discovery of a large accumulation of natural hydrogen in Bourakebougou (Mali) [J]. *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(42): 19315-19326.
- BLM. 2021-11-10/2021-12-12. The Federal Helium Program[EB/OL]. <https://www.blm.gov/programs/energy-and-minerals/helium-federal-helium-program>.
- Canada of Government. 2021-03-29/2021-11-18. Critical minerals[EB/OL]. <https://www.nrcan.gc.ca/our-natural-resources/minerals-mining/critical-minerals/23414>.
- Chen Jianfa, Liu Kaixuan, Dong Qingwei, Wang Hua, Luo Bing, Dai Xin. 2021. Research status of helium resources in natural gas and prospects of helium resources in China[J]. *Natural Gas Geoscience*, 32(10): 1-14(in Chinese with English abstract).
- Chen Xinjun. 2021. Analysis of resource characteristics and exploitation foreground of typical helium rich areas ——A case study of Sinopec's oil and gas mining right area[J]. *Natural Resource Economics of China*, (4): 84-88.
- Desert Hill Energy Corp. 2021-11-13/2021-12-15. The exploration & development of helium in Arizona[EB/OL]. <https://desertmountainenergy.com/wp-content/uploads/2021/04/Desert-Mountain-Energy-Corp.pdf>.
- Directors Talk. 2021-09-23/2021-12-06. Helium market[EB/OL]. <https://directorstalk.net/helium-market>.
- Don L Anderson. 2019-04-10/2022-03-14. Helium, Neon & Argon[EB/OL]. <http://www.mantleplumes.org/Ne.html>.
- Edison. 2021. Global helium market update[R].
- Editorial Board of Geology in China. 2018. US department of the interior determines a complete list of 35 kinds of key mineral resources such as tungsten, rare earth and lithium[J]. *Geology in China*, 45(5):1086(in Chinese).

- Ehime University. 2021-05-06/2021-03-14. A deep reservoir of primordial helium in the earth[EB/OL]. <https://phys.org/news/2021-05-deep-reservoir-primordial-helium-earth.html>.
- European Commission. 2021-09-30/2021-12-17. Critical raw materials[EB/OL]. https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/critical-raw-materials_en.
- Gazprom. 2020-09-23/2021-12-19. Alexey Miller: Gazprom to become one of major players in global helium market[EB/OL]. <https://www.gazprom.com/press/news/2020/september/rticle513742/>.
- Gazprom Information Directorate. 2021-09-03/2021-12-16. World's biggest helium hub comes on stream[EB/OL]. <https://www.gazprom.com/press/news/2021/september/article536871/>.
- General Imperial. 2021-08-31/2021-12-25. Imperial Helium completes drilling of the second well in the Steveville project[EB/OL]. <https://imperialhelium.ca/news/imperial-helium-completes-drilling-of-the-second-well-in-the-steveville-project/>.
- GlobeNewswire. 2021-10-12/2021-12-28. Global Helium Corp. Acquires over one million acres in southern Saskatchewan's helium fairway[EB/OL]. <https://www.globenewswire.com/news-release/2021/10/12/2312648/0/en/Global-Helium-Corp-Acquires-Over-One-Million-Acres-in-Southern-Saskatchewan-s-Helium-Fairway.html>.
- Global Helium. 2021a-11-14/2021-12-30. About global helium[EB/OL]. <https://globalhelium.com/about/>.
- Global Helium. 2021a-11-05/2021-12-16. Global Helium Corp. Expands landholding to 1.2- million acres in southern Saskatchewan's helium fairway[EB/OL]. <https://globalhelium.com/global-helium-corp-expands-landholding-to-1-2-million-acres-in-southern-saskatchewan-helium-fairway/>.
- GSA. 2021-11-12/2022-01-15. Cliffside helium field - data room[EB/OL]. <https://disposal.gsa.gov/s/property/a0Xt00000008VobEAE/cliffside-storage-facility>.
- Helium One. 2021-08-19/2021-12-28. Rukwa[EB/OL]. <http://www.helium-one.com/rukwa/>.
- Hobart M. King. 2022-02-03/2022-02-10. Helium: A byproduct of the natural gas industry[EB/OL]. <https://geology.com/articles/helium/>.
- Provornaya I V, Filimonova I V, Eder L V, Nemov V Y, Zemnukhova E A. 2022. Prospects for the global helium industry development[J]. *Energy Reports*, 8: 110-115.
- Josh White. 2021-08-19/2021-12-19. Helium One begins drilling next well at Rukwa[EB/OL]. <https://www.sharecast.com/news/aim-bulletin/helium-one-begins-drilling-next-well-at-rukwa--8067664.html>.
- Li Wenyuan, Zhang Zhaowei, Gao Yongbao, Chen Bo, Hong Jun. 2022. Tectonic transformation the Kunlun orogen of Pale-Tethys, North China, and the metallization of critical mineral resource's nickel, cobalt, manganese and lithium[J]. *Geology in China*, 49(5):1385-1407(in Chinese with English abstract).
- Liu Guizhou, Dou Lirong, Li Pengyu, Zhou Tianhang, Zhao Xun. 2021. Helium is precious and rare and needs urgent development[J/OL]. *Natural Gas and Oil*, <https://kns.cnki.net/kcms/detail/51.1183.TE.20210927.2020.002.html>(in Chinese with English abstract)
- Liu Shuai. 2019. Supply and demand of lithium resources in 2018 and future trend[J]. *Geology in China*, 46(6): 1580-1582(in Chinese).
- Milkov Alexei V. Giuseppe Etope. 2021-11-30/2021-12-31. The origin of shale gases[EB/OL]. <https://www.geoexpro.com/articles/2019/02/the-origin-of-shale-gases#:~:text=Shale%20gases%20appear%20to%20contain%20very%20little%20helium%2C,aquifers%20that%20supply%20noble%20gases%20to%20conventional%20reservoirs>.
- Molly Burgess. 2021a-11-10/2022-01-06. Avanti Energy appoints T&S drilling for northern Montana helium exploration programme[EB/OL]. <https://www.gasworld.com/avanti-energy-appoints-tands-drilling-for-northern-montana-helium-exploration-programme/202148.article>.
- Molly Burgess. 2021b-07-07/2021-12-19. Noble Helium: There's going to be plenty of helium available over the next decade[EB/OL]. <https://www.gasworld.com/noble-helium-theres-going-to-be-plenty-of-helium-available-over-the-next-decade/2021240.article>.
- Molly Burgess. 2021c-09-06/2022-02-04. Saskatchewan's emergence as a new helium hub[EB/OL]. <https://www.gasworld.com/saskatchewan-emergence-as-a-new-helium-hub/2021641.article>.
- National Archives. 2021. Federal register. 86(214): 62199-62203.
- National Research Council. 2010. Selling the Nation's Helium Reserve[M]. Washington, DC: The National Academies Press: 47-48.
- Ni Yunyan, Dai Jinxing, Tao Shizhen, Wu Xiaohui, Liao Fengrong, Wu Wei, Zhang Dijia. 2014. Helium signatures of gases from the Sichuan Basin, China[J]. *Organic Geochemistry*, 74: 33-43.
- Nicole A. Stroncik, Robert B. Trumbull, Marc-Sebastian Krienitz, Samuel Niedermann, Rolf L. Romer, Chris Harris, James Day M D. 2017. Helium isotope evidence for a deep-seated mantle plume involved in South Atlantic breakup[J]. *Geology*, 45(9): 827-830.
- North American Helium. 2021-10-21/2021-11-26. Exploration[EB/OL]. <https://nahelium.com/operations/exploration/>.
- Offshore Technology. 2021-02-09/2021-12-16. Qatar Petroleum makes FID on \$28.7bn north Field East project[EB/OL]. <https://www.offshore-technology.com/news/qatar-petroleum-makes-fid-on-28-7bn-north-field-east-project/>.
- Omid Shokri Kalehsar. 2021-03-09/2021-12-28. A rising role: Qatar and its competition in the global helium market[EB/OL]. <https://gulffif.org/a-rising-role-qatar-and-its-competition-in-the-global-helium-market/>.
- Peterson J B. 2020. Mineral Commodity Summaries- helium[R].

- Virginia: United States Geological Survey.
- Phil Kornbluth. 2021a-11-25/2021-12-29. Helium removed from US critical minerals list[EB/OL]. <https://www.gasworld.com/helium-removed-from-us-critical-minerals-list/2022248.article>.
- Phil Kornbluth. 2021b-06-10/2022-01-15. Helium start-up activity at unprecedented levels[EB/OL]. <https://www.gasworld.com/helium-start-up-activity-at-unprecedented-levels/2021048.article>.
- Qatargas. 2021-11-30/2022-02-06. Ras Laffan helium[EB/OL]. <https://www.qatargas.com/english/operations/ras-laffan-helium>.
- Qin Shengfei, Li Jiyuan. 2021. Present situation and development trend of helium supply and demand in the world[J]. Oil and Market, (5): 44-45(in Chinese with English abstract).
- Robert Jolley. 2021-11-10/2021-12-17. U.S. Federal helium program[EB/OL]. Amarillo: <https://www.blm.gov/sites/blm.gov/files/GasWorld%20Helium%20Summit%20-%20BLM%20Presentation%20-%20508.pdf>.
- Rotal Helium Ltd. 2021-10-21/2021-12-29. Saskatchewan helium play [EB/OL]. <https://royalheliumltd.com/projects/saskatchewan-helium-play/>.
- Tao Xiaowan, Li Jianzhong, Zhao Libin, Li Liwu, Zhu Wenping, Xing Lantian, Su Faqing, Shan Xiuqin, Zheng Hongju, Zhang Liping. 2019. Helium resources and discovery of first supergiant helium reserve in China: Hetianhe gas field[J]. Earth Science, 44(3): 1024-1041(in Chinese with English abstract).
- Thor Resources Inc. 2021-10-3/2021-11-13. Helium supply, helium demand, helium uses[EB/OL]. <https://www.thorres.com/helium-business-2>.
- USGS. 2018-05-18/2022-02-03. Interior releases 2018's final list of 35 minerals deemed critical to U.S. national security and the economy[EB/OL]. <https://www.usgs.gov/news/interior-releases-2018-s-final-list-35-minerals-deemed-critical-us-national-security-and>.
- USGS. 2021. Mineral Commodity Summaries[R].
- Wang Huan. 2021. The European Union has released a list of 30 key minerals and countries of origin [J]. Geology in China, 48(2): 674-675(in Chinese).
- Wang Huan, Ma Bing, Jia Lingxiao, Yu Yang, Hu Jiayou, Wang Wei. 2021. The role, supply and demand of critical minerals in the clean energy transition under carbon neutrality targets and their recommendations [J]. Geology in China, 48(6): 1720-1733.
- Zhang Yang, Cai Xinlei, Zhang GuoQiang, Li Mengyao. 2019. The development and utilization of helium resources in China is imminent[J]. China Petroleum Enterprise, 7: 21-25 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Zhaowei, Qian Bing, Wang Yalei, Li Wenyuan. 2021. Discussion on the tectonic settings of magmatic nickel-cobalt sulfidedeposits in the eastern Kunlun Orogenic Belt[J/OL]. Geology in China. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1167.p.20201209.1619.004.html>(in Chinese with English abstract).
- Zhong Xin, Jing Wei. 2021-12-22/2022-01-05. Foreign media: Japan's helium import price hit a new high, and Tokyo Disney stopped selling balloons[EB/OL]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1719850773975223361&wfr=spider&for=pc>.

附中文参考文献

- 陈践发, 刘凯旋, 董勃伟, 汪华, 罗冰, 戴鑫. 2021. 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, 32(10): 1-14.
- 李文渊, 张照伟, 高永宝, 陈博, 洪俊. 2022. 昆仑古特提斯构造转换与镍钴锰锂关键矿产成矿作用研究[J]. 中国地质, 49(5): 1385-1407.
- 刘贵洲, 窦立荣, 李鹏宇, 周天航, 赵勋. 2021. 氦气珍稀亟需发展[J/OL]. 天然气与石油. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/51.1183.TE.20210927.2020.002.html>.
- 刘帅. 2019. 2018年锂资源供需及未来趋势[J]. 中国地质, 46(6): 1580-1582.
- 秦胜飞, 李济远. 2021. 世界氦气供需现状及发展趋势[J]. 油品与市场, (5): 44-45.
- 陶小晚, 李建忠, 赵力彬, 李立武, 朱文平, 邢蓝田, 苏法卿, 单秀琴, 郑红菊, 张立平. 2019. 我国氦气资源现状及首个特大型富氮储量的发现: 和田河气田[J]. 地球科学, 44(3): 1024-1041.
- 王欢. 2021. 欧盟发布30种关键矿产与来源国清单[J]. 中国地质, 48(2): 674-675.
- 王欢, 马冰, 贾凌霄, 于洋, 胡嘉修, 王为. 2021. 碳中和目标下关键矿产在清洁能源转型中的作用、供需分析及其建议[J]. 中国地质, 48(6): 1720-1733.
- 张阳, 蔡鑫磊, 张国强, 李萌瑶. 2019. 我国氦气资源开发利用迫在眉睫[J]. 中国石油企业, (7): 21-25.
- 张照伟, 钱兵, 王亚磊, 李文渊. 2021. 东昆仑造山带岩浆镍钴硫化物矿床形成构造背景探讨[J/OL]. 中国地质. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1167.p.20201209.1619.004.html>.
- 《中国地质》编辑部. 2018. 美国内政部确定钨、稀土、锂等35种关键矿产清单[J]. 中国地质, 45(5): 1086.
- 中新经纬. 2021-12-22/2022-1-5. 外媒: 日本氦气进口价创新高, 东京迪士尼停售气球[EB/OL]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1719850773975223361&wfr=spider&for=pc>.