

天然气脱水高分子膜材料设计构建策略研究

张晓灿 卿双永 李田田 张 瑛 曾思琴

中国石油大学(北京)理学院, 北京 102249

摘 要:为了清除天然气在开采过程中携带的水蒸气,避免天然气在管道运输过程中可能遇到的管道腐蚀和管道阻塞问题,有必要在天然气进入管道运输前进行除水处理。在众多天然气脱水方法中,高分子膜法脱水是最具有性价比的方法。通过研究溶解—渗透机理,从水蒸气在膜中的溶解性和渗透性这两个最能影响膜性能的方面出发,研究了引入亲水性基团、增大自由体积、添加固体填料等方面对膜性能的影响;同时重点从填料类型与设计因素等方面展开分析,深入研究了天然气脱水膜材料构建策略。研究表明,通过引入亲水性基团增强水蒸气在膜上的溶解性和增大自由体积分数增强水蒸气在膜内的渗透性均可大幅增强膜性能,固体填料的加入更是能同时改善水蒸气在膜上的溶解性和水蒸气在膜内的渗透性。高分子膜法去除天然气中的水蒸气具有巨大的潜力,构建提高天然气膜脱水性能的高分子膜材料十分重要。

关键词:天然气脱水;膜分离;高分子膜;混合基质膜

DOI:10.3969/j.issn.1006-5539.2021.02.006

Research on the design and establishing construction strategy of polymer membrane materials to improve the performance of natural gas dehydration membrane

ZHANG Xiaocan, QING Shuangyong, LI Tiantian, ZHANG Ying, ZENG Siqin

College of Science, China University of Petroleum, Beijing, 102249, China

Abstract: In order to remove the water vapor associated with the natural gas production process and avoid pipeline corrosion and pipeline blockage that may happen in the process of natural gas pipeline transportation, it is necessary to perform water removal operations before natural gas enters transportation pipeline. Among many natural gas dehydration methods, polymer membrane dehydration is the most cost-effective method. By studying the dissolution-permeation mechanism, it is known that solubility and permeability of water vapor in the membrane are the most important factors affecting the membrane performance. This research studied the introduction of hydrophilic groups, increase of free volume, as well as the addition of solid fillers. Among these three aspects, the study focused on the types of fillers and the design factors to establish the strategy on the construction of natural gas dehydration membrane materials. The study results show that: 1) introducing hydrophilic groups can enhance the solubility of water vapor on the membrane, and increasing the free volume fraction can enhance the permeability of water vapor in the membrane; therefore, both methods can greatly enhance the performance of membranes; and 2) the

收稿日期:2020-10-30

基金项目:国家重点研发计划“输气管道完全流动的纳米薄膜干燥理论与技术”(2016YFC0303704)

作者简介:张晓灿(1982-),女,河南新乡人,副教授,博士,主要从事高分子复合膜材料的研究。E-mail:xiaocan.zhang@cup.

edu.cn

addition of solid filler can improve the solubility of water vapor on the membrane and the permeability of water vapor in the membrane at the same time. The polymer membrane method has great potential in the application of removing water vapor in natural gas, and establishing the development of polymer membrane materials construction that improve the natural gas dehydration performance is very important.

Keywords: Natural gas dehydration; Membrane separation; Polymer membrane; Mixed matrix membrane

0 前言

天然气是一种优质高效的清洁能源燃料,也是工业生产甚至日常生活的重要原料,是许多国家可持续能源发展的重点。然而,新开采出的天然气成分复杂,一般含有酸性气体(包括 H_2S 、 CO_2 等)和水蒸气,需要经过加工处理才能进行管道输送。在运输过程中,当环境温度、压力等条件发生变化时,气体中的水蒸气可能冷凝形成液态水,与酸性气体接触后产生的酸会腐蚀管道^[1];也可能形成冰或天然气水合物,阻塞管道和阀门^[2-3]。因此,天然气脱水净化是保证天然气安全稳定传输与使用的基本环节。

目前,常见的天然气脱水方法有:固体吸附法、溶剂吸收法和低温冷凝法^[4]。固体吸附法主要利用多孔固体吸附剂(如分子筛)进行脱水,具有较高的吸附容量和选择性,广泛应用于天然气深度脱水工艺;但是,该方法投资高能耗大,不易扩大规模,经济性较差^[5]。溶剂吸收法是使天然气与亲水溶剂(如三甘醇)充分接触,通过吸收原理除水,脱水度高;但设备操作复杂,维修成本高,溶剂易被污染且无法再生^[6]。低温冷凝法借助天然气与水汽凝结为液体的温度差异,通过降温和重力分离实现脱水,工程投资较大,能耗较高。而膜法分离技术优势和经济优势明显,具有以下优点:高度模块化,设计紧凑;占地面积小,方便维护;规模易控制,操作简单;受环境影响小,替换容易等^[7]。寻找和制备具有优异性能的膜材料一直是膜法分离技术开发与研究的热点课题。

1 气体膜的分离原理

气体经由聚合物膜的传输受控于溶解—扩散机理^[8],见图1。常见的溶解—扩散模型主要分为三个阶段:首先,在驱动力(如压力或浓度梯度)的影响下,气体分子在聚合物表面吸附溶解;然后,聚合物在膜内扩散

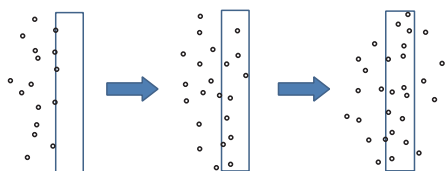


图1 溶解—扩散机制过程示意图

Fig. 1 Process of dissolution-diffusion mechanism

至另一侧;接着,渗透的气体分子在膜的另一侧解吸并由溶解度/扩散度差异而分离。

气体组分的渗透率是表征膜选择性好坏的重要参数,渗透系数计算如下:

$$P_i = D_i \cdot S_i \quad (1)$$

式中: P_i 为组分*i*通过致密聚合物膜的渗透系数,barrer ($1 \text{ barrer} = 10^{-10} (\text{cm}^3 \cdot \text{cm}) / (\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{cmHg})$); D_i 为组分*i*的扩散系数, cm^2 / s ; S_i 为组分*i*的溶解度系数, $\text{cm}^3 / (\text{cm}^3 \cdot \text{cmHg})$ 。渗透率表示渗透剂在1 s时间内以1 Pa的压降通过1 m膜厚1 m^2 表面积的多孔样品的摩尔数。

对于复合膜来说,膜厚无法测量,气体的通量可通过渗透率(P/l)来描述:

$$P/l = q/A(p_2 - p_1) \quad (2)$$

式中: l 为膜厚,m; q 为标准状况下(STP)渗透气体的体积流量, m^3 / s ; A 为膜面积, m^2 ; p_2 和 p_1 分别为膜进料侧、渗透侧的压强,Pa; P/l 为渗透率,通常以GPU表示, $\text{mol} / (\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$ 。 $1 \text{ GPU} = 10^{-6} \text{ cm}^3 / (\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{cmHg}) = 7.5 \times 10^{-10} \text{ cm}^3 / (\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$, $1 \text{ mol} / (\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}) = 3 \times 10^9 \text{ GPU} = 3000 \text{ cm}^3 / (\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{cmHg})$,若膜厚 l 为 10^{-4} cm ,则 $1 \text{ barrer} = 1 \text{ GPU} \cdot 10^{-4} \text{ cm} = 10^{-10} (\text{cm}^3 \cdot \text{cm}) / (\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{cmHg})$,此时膜的渗透系数与渗透率数值相等。

气体在膜内的溶解度与膜基质的亲和力有关。气体在膜内的扩散系数随着气体分子尺寸的减小和自由体积元素数量及尺寸分布的增加而增大^[7]。膜的分离性能由分离因子 α 来表征,由渗透系数的定义可以将分离因子表达为:

$$\alpha_{A/B} = \frac{P_A}{P_B} = \frac{S_A D_A}{S_B D_B} \quad (3)$$

式中: $\alpha_{A/B}$ 为气体A与气体B的分离因子; P_A 、 P_B 分别为气体A、B的渗透系数,barrer; S_A 、 S_B 分别为气体A、B的溶解度系数, $\text{cm}^3 / (\text{cm}^3 \cdot \text{cmHg})$; D_A 、 D_B 分别为气体A、B的扩散系数, cm^2 / s 。

显然,对于气体分离膜来说,高的渗透性和高的选择性同样重要。然而,Robeson L M研究发现,材料渗透性的增加导致其选择性的降低^[9-10]。因此,该领域的主要难题之一就是突破这一限制,构建具有高渗透性和高

选择性的膜材料。

2 天然气脱水膜材料的设计构建

气体膜法分离的原理是混合气体在膜表面的溶解度和在膜内的扩散能力不同。由式(3)可知,分离性能好的材料,具有好的扩散选择性和/或溶解度选择性。扩散选择性与膜材料中的自由体积和渗透气体的尺寸有关,而溶解度选择性则取决于气体分子与膜材料基质之间的化学亲和力。从分子尺寸上看, N_2 与 CH_4 的平均直径相似,分别是0.33 nm和0.37 nm,而 H_2O 的只有0.25 nm;从溶解度方面看, N_2 与 CH_4 均是结构对称的非极性分子,它们与极性水分子之间、膜基质之间的作用情况类似。基于此, N_2/H_2O 与 CH_4/H_2O 体系中的水蒸气在聚合物膜中的吸附、溶解和扩散行为类似。天然气脱水性能在膜材料的设计构建上,可部分采用 N_2 和 H_2O 的模拟气氛进行类比和分析。

CH_4 与水蒸气的分离属于二组分的气体分离,在膜材料的设计上可分为三类进行介绍。

2.1 引入亲水基团,提高水蒸气溶解度

根据气体分子在膜内传输的溶解—渗透机理,水分子在膜材料中的溶解度是影响膜分离性能的主要因素,而有效提高材料的水蒸气溶解度的方法之一是增加聚合物材料的亲水性。因此,膜亲水性的调节对其应用尤为重要。

通过共混或者嵌段共聚的方式直接引入亲水性聚环氧乙烷(PEO)或聚乙二醇(PEG)基团。Kim K H等人^[11]以聚醚砜(PES)中空纤维膜作为支撑层,在表面涂覆醋酸纤维素(CA)与PEG的共混物制膜,亲水材料PEG的含量为0~5%。水蒸气渗透率提升至444 GPU, N_2/H_2O 分离系数达147。Potreck J等人^[12]的研究表明,采用含亲水PEO基的嵌段共聚物PEBAX® 1074可使膜具有良好的分离性能与渗透性能,验证了含PEO基的聚合物作为水蒸气分离膜的潜力。聚对苯二甲酸丁二醇酯(PBT)是机械性能优越的聚酯型热塑性材料,且与PEO有良好的相溶性。Metz S J等人^[13]研究了不同PBT/PEO比例的嵌段共聚物膜在 N_2/H_2O 分离中的表现,发现在PEO基含量为40%~75%,水活度在0.4时,水蒸气渗透率从 6.5×10^4 barrer升至 1.4×10^5 barrer, N_2/H_2O 分离系数由约8 000升至20 000。Ijzer A C等人^[14]研究了一种单分散四酰胺(T6T6T)作为硬链段、PEO-ran-PPO作为软链段的嵌段共聚物膜,在软链段含量 $\geq 80\%$ 时,水蒸气渗透率有明显提升,分离系数可达 10^4 。

通过涂覆或基团转变的方式间接引入其它类亲水性基团。Yun S H等人^[15]制备了一种以PES为支撑层,通过涂覆亲水性聚多巴胺(PDA)粘连界面聚合形成选择性层的薄膜复合膜。界面聚合以间苯二胺(MPD)为水相、均苯三甲酰氯(TMC)为有机相反应形成的聚酰胺

结构。结构中原TMC中未反应完全的氯酰基水解得到的羧基大大提高了水蒸气的渗透性和选择性,通过调控PDA涂覆厚度和界面聚合时间得到的膜水蒸气渗透率可达1 029 GPU, N_2/H_2O 分离系数可达63。在Yun S H^[16]等人的另一项研究中,不使用PDA涂覆,将水相换成了亲水性更好的3,5-二氨基苯甲酸(BA)。通过聚合时间的调控,得到最佳渗透率2 160 GPU和最佳分离系数23。

2.2 增大自由体积,促进水蒸气扩散

通过分子扩散控制,也可以达到分离水蒸气与其它气体的作用;具有较大自由体积的膜材料,其水蒸气渗透率远大于其它气体渗透率,可达到分离的效果。

Scholes C A等人^[17]制备了一种用于水蒸气分离的高温热重排膜。该课题组使用3,3'-二羟基-4,4'-二氨基联苯与4,4'-六氟异丙基二邻苯二甲酸酐(HAB-6 FDA)为前驱体制得 α -羟基聚酰亚胺(PI),并通过溶剂蒸发的方法得到PI膜,最后经过热重排(TR)制成聚苯并恶唑(PBO)膜。该膜的水蒸气渗透率范围为35 000~43 500 barrer,是PI膜水蒸气渗透率的10倍。这是由于PBO膜的自由体积分数(FFV)为0.2,大于PI膜的FFV(0.16),在PBO膜内部形成了一定尺寸分布的双峰空腔。该空腔的存在使得水蒸气渗透率大幅提高。研究还表明,由于膜内部存在竞争吸附, CO_2 和 CH_4 的透过受到抑制,渗透率分别仅为320~450 barrer和18~24 barrer,为分离提供了条件。

膜材料构建策略汇总见表1^[11-21]。

表1 膜材料构建策略汇总表

Tab. 1 Summary of membrane materials construction strategies

膜材料构建策略	膜材料	应用场景	备注
亲水性控制	PES@CA/PEG	N_2/H_2O	文献[11]
	PEBAX® 1074	N_2/H_2O	文献[12]
	PBT-PBO 嵌段共聚	N_2/H_2O	文献[13]
	T6T6T-PEO-ran-PPO 嵌段共聚	N_2/H_2O	文献[14]
	TFC膜(PES@MPD/TMC)	N_2/H_2O	文献[15]
	TFC膜(PES@BA/TMC)	N_2/H_2O	文献[16]
分子扩散控制	TR PBO	CH_4/H_2O	文献[17]
混合基质膜			
原始填料	PBI/TiO ₂	N_2/H_2O	文献[18]
	PEBAX® 1657/SiO ₂	N_2/H_2O	文献[19]
改性填料	(i-PP)-MWCNT/i-PP	CH_4/H_2O	文献[20]
	TiO ₂ -COOH-/PBI	N_2/H_2O	文献[18]
	EG-SiO ₂ /PEBAX® 1657	CH_4/H_2O	文献[19]
新型填料	Uio-66-NH ₂ /PA6	CH_4/H_2O	文献[21]

2.3 加入固体填料,改善膜综合性能

高分子膜是膜工业中非常重要的一类,但其纯膜的水、热、化学稳定性仍有待提高^[7];增加填料制得混合基质膜(MMMs)可提高分离性能、机械性能、热稳定性和化学稳定性等,广泛应用于气体分离膜、质子交换膜、纳滤膜、透析膜等领域。MMM中不同填料的加入对其性能起到不同程度的影响,这里分为三类进行介绍。

2.3.1 原始填料

原始填料一般是指未经过任何改性处理的初始填料,通常用于调控膜的亲水性或者改变水分子在膜内的扩散性。

Akhtar F H 等人^[18]把 TiO₂ 与聚苯并咪唑(PBI)混合制得混合基质膜,改善了基膜的亲水性。TiO₂ 纳米颗粒与 PBI 的高亲水性使 MMMs 获得了极高的水蒸气渗透率,在 10% 的负载量下可以达到 7.1×10^6 barrer;同时,由于 N₂ 的渗透率变化不大,该膜的分离系数可达 6.0×10^6 。

Poormohammadian S J 等人^[19]的研究则改变了水蒸气的渗透性。这项研究通过溶胶凝胶法在电纺的聚丙烯腈(PAN)支撑层上涂覆 PEBAX® 1657,从而与 SiO₂ 混合制成 MMMs。实验测得,随着 SiO₂ 纳米粒子浓度的增加,MMMs 的自由体积分数有增加的趋势。与纯 PEBAX® 1657 相比,MMMs 的高自由体积分数使得水蒸气与 CH₄ 的渗透率均得到了提高。同时,由于 SiO₂ 纳米粒子是亲水性无机材料,其吸收水分子并引起更多水蒸气的传输,在掺入 30% 时分离系数可达 8 000,水蒸气渗透率为 15 000 barrer,分别提高了 35% 和 100%。

2.3.2 改性填料

改性填料通常用于解决 MMMs 分散不均匀,相容性不好的问题,从而进一步提升 MMMs 的性能。Bounos G 等人^[20]把等规聚丙烯(i-PP)接枝到多臂碳纳米管表面,再与 i-PP 混合制膜,相容性得到改善,水蒸气渗透率提高 1 倍,达到约 16 000 barrer;CH₄/H₂O 分离系数提升了 13 倍,达到约 3 600。Akhtar F H 等人^[18]在同一项研究中将 TiO₂ 羧基化后制成膜,由于 -COOH 的引入为水蒸气的传输创造了更多路径,得到了约 3×10^6 的分离系数。在 Poormohammadian S J 等人^[19]的研究中也对经乙二醇(EG)官能团化的 SiO₂ 制成的膜进行测试,发现 EG 的引入使 CH₄ 和 H₂O 的渗透率都得到了提高,但 H₂O 的提升幅度更大,EG 对 SiO₂ 纳米粒子的功能化使选择性提高了 13.3%。

2.3.3 新型填料

根据需求自行设计与合成新型填料是未来发展的方向。其中,金属有机框架(MOF)的孔结构、孔大小及表面官能团均可通过分子设计得到精确控制,是 MMMs 填料的热门研究方向。Wang Ruolin 等人^[21]将自行设计

合成的氨基 MOF 材料 UiO-66-NH₂ 与 PA6 混合,增强了 PA6 的亲水性;与此同时,UiO-66-NH₂ 与 PA6 链间形成氢键,构成了水分子传输的通道,使 MMMs 的水蒸气渗透率和 CH₄/H₂O 选择性比纯 PA6 膜分别提高了 116% 和 146%。随着 MMMs 新型填料的进一步研发,高分子膜脱水技术势必迎来革命性进展。

3 结论

CH₄ 与水蒸气的分离可通过高分子膜材料有效实现,而如何构建与设计膜材料结构以完成脱水的高效性是一直以来亟需解决的问题。本文从气体分子在膜内传输的溶解-渗透机理出发,从以下三方面论述了天然气脱水膜材料的设计构建:1)引入亲水基团,提高水蒸气溶解度;2)增大自由体积,促进水蒸气扩散;3)加入固体填料,改善膜综合性能,为天然气脱水膜材料的选择提供借鉴。相信随着可燃冰的成功开采,对高效 CH₄ 脱水技术需求的日益迫切,基于该设计构建策略的新型分离膜将逐渐出现,并在天然气脱水领域得到广泛应用。

参考文献:

- [1] 陈晓刚. 天然气脱水方法的选择浅析[J]. 化工管理, 2015 (27): 205-206.
- [2] 祁亚玲. 天然气水合物和天然气脱水新工艺探讨[J]. 天然气与石油, 2006, 24(6): 35-38.
- [3] 刘 霄, 刘唯佳, 张 倩, 等. 天然气脱水技术优选[J]. 油气田地工程, 2017, 36(10): 31-35.
- [4] LIU Xiao, LIU Weijia, ZHANG Qian, et al. Optimization of the dehydration technology for natural gas [J]. Oil-Gas Field Surface Engineering, 2017, 36 (10): 31-35.
- [5] GANDHIDASAN P, AL-FARAYEDHI A A, AL-MUBARAK A A. Dehydration of natural gas using solid desiccants [J]. Energy, 2001, 26 (9): 855-868.
- [6] SHIRAZIAN S, ASHRAFIZADEH S N. LTA and ion-exchanged LTA zeolite membranes for dehydration of natural gas [J]. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 2015, 22: 132-137.
- [7] 胡耀强, 何 飞, 韩建红. 天然气脱水技术[J]. 化学工程与装备, 2013(3): 151-153.
- [8] HU Yaoqiang, HE Fei, HAN Jianhong. Natural gas dehydration technology [J]. Chemical Engineering & Equipment, 2013 (3):

151-153.

- [7] 宋庆翔, 瞿媛媛, 张丛健, 等. 膜分离天然气脱水蒸汽技术的研究现状[J]. 化学通报, 2018, 81(10): 903-908.
- SONG Qingxiang, QU Yuanyuan, ZHANG Congjian, et al. Research status of natural gas dehydration technology by membrane separation [J]. Chemistry, 2018, 81(10): 903-908.
- [8] LONSDALE H K, PODALL H E. Reverse osmosis membrane research [M]. New York: Plenum, 1972: 43-57.
- [9] ROBESON L M. Correlation of separation factor versus permeability for polymeric membranes [J]. Journal of Membrane Science, 1991, 62(2): 165-185.
- [10] ROBESON L M. The upper bound revisited [J]. Journal of Membrane Science, 2008, 320(1-2): 390-400.
- [11] KIM K H, INGOLE P G, YUN S H, et al. Water vapor removal using CA/PEG blending materials coated hollow fiber membrane [J]. Journal of Chemical Technology & Biotechnology, 2015, 90(6): 1117-1123.
- [12] POTRECK J, NIJMEIJER K, KOSINSKI T, et al. Mixed water vapor/gas transport through the rubbery polymer PEBAX® 1074 [J]. Journal of Membrane Science, 2009, 338(1-2): 11-16.
- [13] METZ S J, VAN DE VEN W J C, MULDER M H V, et al. Mixed gas water vapor/N₂ transport in poly(ethylene oxide) poly(butylene terephthalate) block copolymers [J]. Journal of Membrane Science, 2005, 266(1-2): 51-61.
- [14] IJZER A C, ARUN A, REIJERKERK S R, et al. Synthesis and properties of hydrophilic segmented block copolymers based on poly(ethylene oxide)-ran-poly(propylene oxide) [J]. Journal of Applied Polymer Science, 2010, 117(3): 1394-1404.
- [15] YUN S H, INGOLE P G, KIM K H, et al. Properties and performances of polymer composite membranes correlated with monomer and polydopamine for flue gas dehydration by water vapor permeation [J]. Chemical Engineering Journal, 2014, 258: 348-356.
- [16] YUN S H, INGOLE P G, CHOI W K, et al. Synthesis of cross-linked amides and esters as thin film composite membrane materials yields permeable and selective material for water vapor/gas separation [J]. Journal of Materials Chemistry A, 2015, 3(15): 7888-7899.
- [17] SCHOLLES C A, FREEMAN B D, KENTISH S E. Water vapor permeability and competitive sorption in thermally rearranged (TR) membranes [J]. Journal of Membrane Science, 2014, 470: 132-137.
- [18] AKHTAR F H, KUMAR M, VILLALOBOS L F, et al. Polybenzimidazole-based mixed membranes with exceptional high water vapor permeability and selectivity [J]. Journal of Materials Chemistry A, 2017, 5(41): 21807-21819.
- [19] POORMOHAMMADIAN S J, DARVISHI P, DEZFULI A M G. Enhancing natural gas dehydration performance using electrospun nanofibrous sol-gel coated mixed matrix membranes [J]. Korean Journal of Chemical Engineering, 2019, 36(6): 914-928.
- [20] BOUNOS G, ANDRIKOPOULOS K S, MOSCHOPOULOU H, et al. Enhancing water vapor permeability in mixed matrix polypropylene membranes through carbon nanotubes dispersion [J]. Journal of Membrane Science, 2017, 524: 576-584.
- [21] WANG Ruolin, ZHANG Ying, XIE Xiaoxue, et al. Hydrogen-bonded polyamide 6/Zr-MOF mixed matrix membranes for efficient natural gas dehydration [J]. Fuel, 2021, 285: 119116.

全球将大规模扩大氢能利用

国际可再生能源署(IRENA)2021年3月18日表示,为了实现巴黎协定达成的气候目标,各国需要大幅加速能源转型,实现全球净零排放。

在最新的展望报告中,国际可再生能源署表示,到2050年,需要131万亿美元投资,才能使全球能源系统脱碳,即平均每年4.4万亿美元,比目前计划的支出增加30%。在此期间,可再生能源在全球初级能源供应中的份额必须增长到74%,需要比目前的年增长率提高8倍,尤其要大规模扩大氢能的利用。

报告指出,若要实现巴黎协定的目标,到2050年全球化石燃料的消费量须下降超过75%。尽管从目前到本世纪中期天然气仍是主要的化石燃料,但天然气的使用须在2025年达到顶峰。到本世纪中叶,可再生能源发电能力要比现在扩大10倍以上,同时交通运输的电气化规模将扩大30倍,绿色氢能的生产和使用将大幅度增加。预计到2050年,全球将有30%的电力专用于生产氢及其衍生物。为了实现这一目标,全球电解槽总容量需从今天的0.3吉瓦扩大到近5000吉瓦。

IRENA总干事弗郎西斯科·卡梅拉说:“能源转型不能再局限于缓慢的努力或渐进过程,而是需要大幅度加速能源转换,其基础是现有技术的迅速升级。”碳捕获和储存技术与生物能源技术结合,将为净零能源系统提供可行技术。

(曾妍 摘自中国石油新闻中心)