

# 氢进万家专题序 ( I )

## ——氢进万家，助力“双碳”目标实现，服务生态文明建设

鲁仰辉\* 赵建福<sup>†,\*\*,1)</sup>

<sup>†</sup>(国家电投集团科学技术研究院有限公司碳中和研究中心, 北京 102209)

<sup>†</sup>(中国科学院力学研究所微重力重点实验室, 北京 100190)

<sup>\*\*</sup>(中国科学院大学工程科学学院, 北京 100049)

全球气候变化是当今世界可持续发展面临的巨大而严峻的挑战，建设生态文明社会，实现碳中和是应对挑战的重要手段。我国关于“双碳（碳达峰和碳中和）”战略目标的庄严承诺，正是作为一个负责任大国的使命与担当。氢能作为潜力巨大的清洁能源载体，是我国能源结构由高碳到低碳转型并最终实现碳中和战略目标的重要选择，甚至是实现碳中和的终极方案。目前，我国氢能产业正步入发展快车道，城镇地区用氢需求将不断提升，如何实现氢能的规模化、经济性和安全输运是制约“氢进万家”的关键问题。

管道输运是实现氢气大规模、网络化输送最有潜力的技术，如果利用已有天然气管网进行少量改造输氢，更能节约大量基础设施建设费用。因此，管道掺氢输送很早就得到了欧美国家重点关注，开展了大量研究和示范工作。中国氢能联盟 2020 年发布的《中国氢能源及燃料电池产业白皮书》指出，美国有 2500 公里的输氢管道，欧洲已有 1569 公里的输氢管道。在掺氢输运方面，国外研究和示范已开展近二十年。尤其在欧洲，正在开展的荷兰 Ameland、法国 GRHYD、英国 HyDeploy 以及德国 DVGW 项目均计划向天然气管网最高注入 20%（体积分数）氢气，并研究其对管网及终端的影响。这些项目着重研究了管道材料与设备适应性、经济性和安全性问题，有力推动了氢能在欧洲的发展和应用。

我国氢气输送技术研究和系统建设较国外明显滞后，现有氢气输送管道总里程仅约 400 km，在天然气掺氢输送方面起步也相对较晚。不过，近年来我国持续加大了投入力度。2019 年国家电投集团率先在辽宁朝阳建设了国内首个电解制氢掺入天然气应用示范，掺氢比例目前已达到 10%，并对管道材料相容性、掺混工艺、安全保障技术、家用燃具适应性等进行了研究。2020 年河北省在张家口市启动天然气掺氢示范项目，在“应张管线”末站开展掺混应用示范。2021 年内蒙古自治区在乌海市建设纯氢/掺氢试验平台，围绕纯氢与掺氢燃气管道输送应用开展关键技术研究。特别是科技部于 2021 年在山东启动了“氢进万家”科技示范工程，并在国家重点研发计划中启动一系列重点项目，围绕氢能绿色制取与规模转存体系、氢能安全存储与快速输配体系、氢能便捷改质与高效动力系统以及“氢进万家”综合示范等开展联合攻关，力争贯通基础前瞻、共性关键、工程应用和评估规范环节。

“氢进万家”涉及国家氢能输配体系发展规划以及氢源供应-管道材料-管输工艺-系统安全-终端应用等全链条协调发展。借鉴已有研究基础，深入开展技术攻关，争取在管材相容性、管道连接工艺、管

本文于 2022-04-26 收到。

1)E-mail: jfzhao@imech.ac.cn

引用格式: 鲁仰辉, 赵建福. 氢进万家专题序 ( I )——氢进万家，助力“双碳”目标实现，服务生态文明建设. 力学与实践, 2022, 44(3): 489-490

Lu Yanghui, Zhao Jianfu. Hydrogen entering myriad homes helps achieving the “double carbon” goal and constructing ecological civilization. *Mechanics in Engineering*, 2022, 44(3): 489-490

输工艺、事故特征规律、系统完整性管理及终端应用设备（如家用燃气具、燃料电池等）等方面实现基础理论突破与完善，开发关键设备和软件，建立标准体系，开展示范验证，积累应用经验，缩短我国和国际先进水平的差距，推动能源结构的绿色转型，助力“双碳”战略目标的顺利实现，服务生态文明社会建设，提升我国能源安全与绿色生态环境水平，提高国民经济竞争力和国际气候治理领导力。

为此，本专栏特邀学术界和产业界专家学者围绕“氢进万家”相关技术方向，交流最新研究成果，分析目前研究现状，研判未来发展趋势，以推动“氢进万家”目标实现，助力我国“双碳”目标实现，服务国家生态文明建设。相关稿件拟分两期刊出，本期主要内容简介如下：

于子龙等调研了国际上具有代表性的天然气掺氢管道输运及终端应用研究及示范项目进展情况，就天然气管道掺氢输运的关键技术、燃烧器终端应用及经济性分析等，系统总结了相关的研究成果、运行经验和存在问题，并论证了针对我国的管路条件、气体成分等开展深入系统研究的必要性。

“氢进万家，安全第一。”安全问题涉及材料、工艺、设备及系统完整性管理与应急维修等方面。陈林等评述了氢环境下压力容器及管道材料相容性研究进展，阐述了典型氢脆机理及氢进入材料内部的渗透机理，总结分析了压力容器和高钢级管线钢氢脆特征，强调未来氢致失效难题研究应关注热处理与加工工艺、焊接工艺等，同时，也需要加强掺氢输送管道的氢气浓度阈值研究与控制、针对新环境的材料数据库建设以及适应新的服役环境的材料相容性标准制定等。齐晓琳等实验观测了高锰钢预充氢后在不同应变速率下的断口特征，分析了不同应变速率下位错载氢对金属材料氢脆行为的影响，发现较慢应变速率下拉伸时氢可以随位错运动，在塑性变形过程中形成更大的氢原子扩散距离和脆性区深度，呈现更高的氢脆敏感性。另一方面，针对储氢长管拖车在城市公路隧道运输时突发异常状况导致的氢气泄漏和燃爆事故，时婷婷等构建了三维事故场景模型，基于隧道内氢气泄漏浓度、冲击波和温度场等特性参数分析，研究了燃爆事故演化规律和毁伤机理，为事故防范与应急处置提供指导。

“氢进万家，用户为上。”掺氢天然气随已有管网输送到用户燃烧利用，是低成本大规模利用氢能的有效方式之一，因此，适用于掺氢天然气的高性能家用燃气灶具研发与应用推广是打通“氢进万家”最后一公里的关键。江先明和黄逊青从燃气分类与特性、关键技术问题、产品实现与性能测试、标准体系构建等方面，详细总结了万和公司近年来有关掺氢天然气家用燃气具研发的进展和经验。王天天等实验研究了掺氢比变化对燃烧设备运行参数的影响，揭示了掺氢天然气在燃气锅炉和灶具中的回火特性变化规律，并基于预混气体未燃侧流速和火焰传播速度的变化幅度定义了一个新的无量纲参数 $\beta$ ，定量比较了不同设备的回火风险。

另一方面，氢质子交换膜燃料电池（ $H_2$ -PEMFC）作为一种将氢气的化学能转换为电能的绿色能源技术，对于实现碳中和具有重要意义，同样是“氢进万家”战略中重要的终端应用设备。李艺彤等针对 $H_2$ -PEMFC阴极催化层内力-电-化-热耦合传递过程，构建了二维、两相、非等温团聚物模型，数值分析了电解质体积分数和团聚物半径对电池性能的影响，为提升燃料电池性能（特别是耐久性）及其安全应用有着明显的指导意义。

篇幅所限，“氢进万家”专栏更多论文将于下期刊出，敬请关注。

doi: 10.6052/1000-0879-22-256