



氢能资料页 (四)

氢气的运输

在向完全可再生能源系统过渡的进程中,不同国家都面临着一个相同的挑战,即具备生产可再生能源电力理想条件的地区与对能源或原料需求量大的工业中心区域相距甚远。氢及其衍生物的应用是解决这一差距问题的重要手段,氢气的不同运输途径具有不同的优缺点。

氢气的特性

纯氢是无色的,在 0°C 和 1.013 巴 (正常状态) 下,密度 $\rho = 0.0899 \text{ kg/m}^3$ 。这种低密度导致其体积能量密度很低,在常压下仅为 3 kWh(LHV)/m^3 ,这使得某些氢气运输方式效率非常低下。当压力达到 700 巴时,氢气的能量密度将上升到 $1200 \text{ kWh(LHV)/m}^3$;化学储存形式下氢气的能量密度可高达 9700 kWh/m^3 。

氢气的运输方式多种多样,例如以液态形式运输,将氢气储存在氨或甲醇中或暂时性与液态有机氢载体 (LOHC) 相结合来运输。

根据运输距离、当地基础设施和最终用途的不同,每种运输方式各有优缺点。此外,运输方式在技术成熟度、经济可行性和安全性方面也各不相同。

管道运输

在中短距离运输中,通过管道是最经济、最节能的适合大规模运输氢气的方式。气态氢的能量密度相对较低,但流速较高,因此单位时间内的能量传输与天然气相似。输氢管道的工作压力范围通常为 50-200 巴。

目前已经有纯氢输送管道正在运行,这意味着该技术已通过测试和规划。这些管道目前仅在某一地区或区域范围内运行,通常用于连接生产商与消费者或消费者集群。欧洲和其他地区所设想的大陆规模的氢气管道网络还未建成。



© shutterstock 供应商/音频和广告

通常来说,管道的成本与距离成正比,但单位运输成本会随管道直径的增大而急剧下降,例如,管道直径增大一倍,运输气量能增大四倍。这使得管道运输方式在 3000 公里内输送氢气特别有效;如果对现有管道进行改造,输送距离甚至可长达 8000 公里。

低能量密度的气态氢运输存在效率低下和经济性差的问题,因此可以对氢气进行转换后再运输,不过这些转换措施会造成能量损失。下文将介绍几个相关措施。

液态氢的运输

氢气液化可以将能量密度大幅提高至 2417 kWh (LHV)/m³。然而，液化所需的温度为 -253℃。

由于液态氢的应用场景较少，通常会被再转化回气态，转化即意味着能量的损失。液化过程所需的能量约为 12 kWh/kg，总效率为 30%–33%。此外，液态氢对所使用的材料要求很高，因为它们必须能承受 -253℃ 的低温状态。

液态氢更适合 4000 公里以内的短距离运输，因为更长距离的运输需要更多的船只来维持恒定的气量。由于管道在这个距离的输送效率最高，液态氢的输送方式可能更适用于无法敷设管道的地区，如日本等岛屿地区。液态氢输送除了能源效率较低和储运设施的技术成熟度较低之外，还存在汽化损耗问题，目前液氢油轮每天的蒸发率为 1%–5%，这使得大规模推广液氢油轮的可能性不大，但这也取决于技术创新。

液态有机氢载体 (LOHC) 形式的运输

液态有机氢载体 (LOHC) 是氢气运输和储存的有效途径之一。LOHC 指的是可以储存和释放氢气的有机化合物。

氢通过放热 (即释放能量) 与贫氢分子结合，这一过程称为氢化。之后，氢气可以在脱氢过程中以吸热方式 (即通过加热) 重新还原。

与纯氢相比，LOHC 的优势在于易于储存。然而，大多数 LOHC 仍处于开发阶段，技术成熟度 (TRL) 较低，转换效率不高，仅为 30%–40%，如果有热回收装置，效率可以有所提高。此外，LOHC 的贫氢部分必须运回，这意味着运输必须是往返的，这也导致经济性不高。由于 TRL 较低，成本估算困难，因此无法确定最佳输送距离。与管道运输相比，LOHC 缺乏竞争力，所以 LOHC 更适用于 3000 公里以上的船舶运输。

以氨的形式运输

氨 (NH₃) 是一种富氢化合物，与化肥生产密切相关。100 多年来，人们一直使用哈伯-博施工艺制氨，使其成为一种全球贸易商品，并建立了完善的基础设施。

氨在常压下的液化温度为 -33℃，但在 9 巴的压力下，液化温度为 20℃。最常见的运输方法是这两种措施结合起来。

液氨的含氢量明显高于液氢。在 1 巴和 -33℃ 的温度下，液氨的含氢量约为 120 kg H₂/m³，而在 1 巴和 -253℃ 的温度下，液氢的含氢量约为 70 kg H₂/m³。

氨气的缺点是毒性大，运输安全等级要求高，往返能效仅为 13%–34%。然而，由于氨气具有较高的技术成熟度和较低的性能要求，因此特别适合长途运输。





© shutterstock供应商/Wojciech Wrzesien

以甲醇的形式运输

甲醇(CH_3OH)是另一种被广泛讨论的运输和储存氢气的备选材料。甲醇在室温下呈液态,体积能量密度为 4900 kWh/m^3 。甲醇是一种广泛交易的商品,其输送基础设施已经较为完善,往返运输能效为 $23\% - 38\%$ 。

除了完善的基础设施和液化条件外,甲醇的危害也比氨小得多。甲醇的缺点是需要碳原子,一旦释放就会形成温室气体二氧化碳。因此要求碳原子必须是可再生来源的,这样合成甲醇才算可再生资源。这些优势为长距离氢气运输提供了良好前景。



版本说明

发行方:

德国国际合作机构
塔园外交办公楼2-5
北京市朝阳区亮马河南路14号
邮编:100600
markus.wypior@giz.de
www.energypartnership.cn

作者: Maximilian Hierhammer

德国能源署 (dena)

更新时间: 2023年12月

本资料页是中德能源转型研究项目 (EnTrans) 的出版物。EnTrans项目是中德能源与能效合作

伙伴的组成部分之一,项目致力于为中德两国政府和相关能源智库提供政策建议。

EnTrans的德方执行机构为德国国际合作机构 (GIZ)、德国能源署 (dena)、德国智库Agora能源转型论坛;中方执行机构为电力规划设计总院、中国南方电网能源发展研究院、中国科学院应用生态研究所。

能源合作伙伴



实施机构



合作伙伴

