



QK2145911

主管单位：中华人民共和国工业和信息化部
主办单位：国家工业信息安全发展研究中心

国际标准连续出版物号：ISSN 2095-6649
国内统一连续出版物号：CN 11-5947/TB
国际发行代号：M9020
邮发代号：82-254

新型工业化

The Journal of New Industrialization

第11卷 第4期 总第124期
2021年4月

* 太阳能热水应用项目节能量与经济性分析

* 智能化分布式架构的康复医疗服务设备系统的构建

* 浅谈河床岩面上的栈桥钢管桩加固方法

* 试析机械加工工艺对零件加工精度的影响

* 水利水电工程水泥灌浆施工技术的有效性研究

* 某石油储运工程陆域工程司法鉴定的案例分析

ISSN 2095-6649



9 772095 664214

04>



新型工业化

XINXING GONGYEHUA

2021年第11卷第4期 月刊

主管：中华人民共和国工业和信息化部

主办：国家工业信息安全发展研究中心

出版：北京赛昇传媒有限公司

编辑：《新型工业化》编辑部

北京赛昇传媒有限公司编委会

主 任：吕坚

副主任：陈征华

编 委：李文庆 胡建强

北京赛昇传媒有限公司

总经理：陈征华

总编辑：李文庆

电 话：010-88686183

传 真：010-88633341

地 址：北京市石景山区鲁谷路35号

邮 编：100040

《新型工业化》编辑部

主任：李文庆（兼）

主编：丁山

编辑：冯春燕 张振庆 蒋陈光 杜婉秋

美术编辑：吴航

发行部：常备

编务：高岚 王文然 赵宇 袁超 龙昭

电 话：010-88686183/53632708/53635144

邮 箱：chinaxgyh@163.com

国际标准连续出版物号：ISSN 2095-6649

国内统一连续出版物号：CN 11-5947/TB

邮发代号：82-254

国内订阅：全国各地邮局所

印刷：北京市庆全新光印刷有限公司

出版日期：每月20日

定价：50元

期刊基本参数：CN 11-5947/TB*2010*M*A4*256*ZH*P*¥50*5000*94*2021-4 广告发布登记：京石市监广登字第0010号（1-1）

行业发展综述

太阳能热水应用项目节能量与经济性分析……………白冰（1）

医药工程设计进度关键影响因素分析……………程辉（3）

工业机器人技术的发展与应用综述

……………代浩岑，孙丹宁，赵文博（5）

化工安全设计在预防化工事故发生中的作用……………董坤（7）

定制化的车辆前束外倾螺栓力矩监控系统

……………冯东明，陈睿鹏，龙培，等（10）

浅析化验分析对钾肥生产过程控制的作用……………郭亮（12）

石墨烯复合纤维的制备方法与应用分析

……………陈琛，韩燧，孙海燕，等（14）

基于 STM32 的家用智慧鱼缸系统设计

……………郭宇豪，朱宵月，田晨阳，等（18）

互联网时代的数字车间发展……………黄俊俊（20）

基于城市评价的碳配额分配机制研究

……………姜文超，孙然，张赞（22）

我国水泥混凝土制品标准化现状及发展趋势探讨

……………徐建新（26）

绿色化工技术在化工工程中的应用……………江保卫（28）

含水层储能技术研究……………姜鑫（31）

国内智能船舶的发展与展望……………李日霞（33）

智能建造与建筑工业化协同发展的思考与实践……………卢锋（36）

青浦区防汛防台工作中存在的问题与对策研究…陆赛凤（38）

环境噪声监测的问题分析及解决对策……………朱小蓉（41）

工业机器人技术发展及实施对策……………时伉丽（43）

突发事件风险管理体系对城市发展的作用探析…石泉洁（45）

新冠背景下辅助大学生制定运动处方的 Android 软件设计

……………张馨月，李文彪（49）

智能化分布式架构的康复医疗服务设备系统的构建
..... 林强，张文字，纪凯（52）

智能化安全管理的发展现状及趋势探讨..... 余挺（54）

针对 ADHD 患者脑电生物反馈治疗的游戏系统设计
..... 吴佳武，刘金明，许泽举，等（56）

基于 HSI 的高光谱遥感图像融合方法研究..... 程传阳（61）

青少年近视防治科普 APP 设计与实现
..... 张洪民，张岩，傅维，等（64）

基于 ARMA 模型的浙江省道路交通事故死亡人数预测探究
..... 李心仪，叶佳欣，林爽，等（67）

基于“1+X”证书制度的工业机器人技术专业课程改革
探索与应用..... 孙红英（70）

基于分布式 KNN 分类器的大数据分类处理方法设计
..... 雷宇（72）

基于 Java 的网络爬虫系统研究与设计
..... 李尚林，陈宫，雷勇（74）

浅谈河床岩面上的栈桥钢管桩加固方法… 吴钢伟，沈炜（78）

未来轨道交通信号系统改造工程技术方案探讨… 张东峰（81）

市政公用工程道路路基施工技术探究..... 孔顺利（83）

挡土墙结构模型的仿真模拟与优化设计
..... 赵海博，张天成，张自光，等（85）

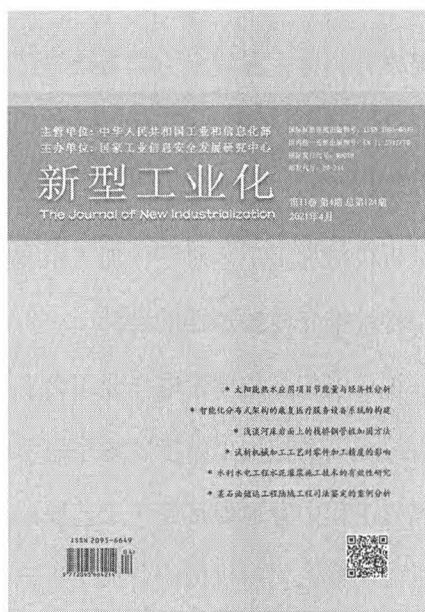
基于高层建筑地基加固处理施工技术研究..... 李彪奇（89）

关于建筑施工企业如何做好塔机安全管理措施的分析
..... 张志明（92）

单时滞广义 Lorenz 系统 Hopf 分岔分析及控制
..... 王申鹏，赵佳伟，孔林雁，等（94）

目次

CONTENTS



★ 本刊重要声明 ★

本刊欢迎相关人士投稿，来稿一律要求在线投稿（<http://www.xxhg.cbpt.cnki.net>）或以电子稿形式发送到本刊专用邮箱：chinaxxgyh@163.com；来稿要写清通信地址、邮箱、联系方式等。本刊一律不退稿，三个月内没有接到用稿通知者请另投他刊。本刊反对抄袭与一稿多投，知情者请举报。

为实现科技期刊发展趋势和我国信息化建设需要，扩大交流渠道，实现期刊编辑、出版、发行的电子化，网络化，《新型工业化》杂志被国内外数据库收录，凡在我刊投稿并被录用的稿件文章，一律由编辑部统一纳入期刊网和数据库，有不同意见者，特别声明，文责自负，本刊所发文章不承担任何连带法律责任，不再另付上网服务报酬。如有印刷质量问题请与发行部联系调换。本刊反对抄袭与一稿多投，知情者请举报。

国际标准连续出版物号：ISSN 2095-6649
国内统一连续出版物号：CN 11-5947/TB
国际发行代号：M9020
邮发代号：82-254
期刊定价：50.00 元
出版日期：每月 20 日
印刷：北京市庆全新光印刷有限公司

1000 吨整孔预制混凝土箱梁轮胎式提梁机技术研究..... 刘培勇, 张利军, 杨桂龙, 等 (98)

道路恢复工程新旧路基搭接施工技术..... 孙泉水 (100)

低温供热领域耐热聚乙烯 PE-RT II 保温复合塑料管的应用优势分析 姜信杰 (102)

蜂窝铝板装饰保温一体板外墙保温系统施工工法研究..... 时光贺, 孙远鹏, 程业达, 等 (104)

地聚合物再生混凝土力学与抗渗性能研究..... 高萍, 张耘歌 (106)

产业技术研究·机械工艺

试析机械加工工艺对零件加工精度的影响..... 李金龙 (110)

一种推推介质振荡器的设计..... 张献武, 王增双, 焦世民, 等 (113)

一种可视化多角度带电作业组合工具研制应用..... 黄双得, 周自更 (116)

有效提高数控加工精度的策略思考..... 秦泉 (118)

燃气工程中管道焊接施工工艺要点分析..... 叶剑 (120)

机械制造工艺与机械设备加工工艺研究..... 乔鹏飞 (122)

零件加工精度对机械加工工艺的影响探讨..... 史先磊 (125)

分布式光纤测温系统在煤矿皮带运输机上的应用分析..... 张银学, 李东 (128)

卷烟制丝加香工序加香均匀性及其影响因素研究..... 仲崇宝, 张磊, 崔巍, 等 (130)

基于主成分分析法的珠磨机研磨效果评价..... 朱玉田, 欧阳智婉, 刘钊 (132)

新型机械设计理论在汽车工程方向的研究与应用..... 秦勇 (136)

A/B 型地铁现场电联接线表自动生成软件设计 胡谦 (138)

葡萄酒酚类抗氧化剂合成及工艺优化..... 齐涛, 许才宇, 王磊, 等 (140)

倒角卡尺校准方法的研究..... 于佃清 (142)

新型机械设计理论在汽车工程方向的应用研究..... 管天福 (144)

YB95 条透明纸包装机夹钳开合控制装置改进研究 刘昌林, 周恒正, 陈勇 (146)

基于 PLC 的氨基酸造粒干燥设备自动控制系统设计 李瑞建, 刘艳芳 (148)

汽化炉角型压力平衡柱塞阀结构的设计..... 刘智, 吴玉良, 张智博, 等 (151)

切线法加工非球面的轨迹控制方法设计..... 贺海霞, 尚春民, 李新 (153)

产业技术研究·电力能源

水利水电工程水泥灌浆施工技术的有效性研究..... 陈文超 (157)

高温气冷堆核电示范工程机械管道孔洞封堵设计研究·····	余文生, 高旭, 刘思光 (159)
火力发电厂锅炉优化运行措施分析·····	张子宏 (163)
浅谈火力发电厂汽轮机运行管理与优化·····	马腾飞 (166)
基于神经网络 PID 的微电网电压控制研究·····	周志荣 (169)
铜和硅钢片价格的变化对变压器成本及设计方案的影响·····	杨颖, 王晓帆 (173)
中国氢能产业链现状及前景展望·····	陈宇, 张小玉, 张荣沛 (176)
水利水电工程中水闸施工技术与管理·····	唐耕耘 (181)
气系统在低扬程泵站应用探讨·····	田葛 (183)
洞泾站节制闸远程控制系统的 应用与改进·····	王毅 (186)
火力发电厂电气节能降耗的问题与技术探讨·····	张磊 (189)
风险管理在电力安全生产管理中的渗透与应用·····	张嘉琳 (192)
水电站电力监控系统信息化建设探讨·····	张俊岭 (194)
基于哈希算法的数据中台在智慧电站中的检索应用·····	孙猛, 邓志成, 丁刚 (196)
基于供热过程中电气自动化的有效控制分析·····	赵东育 (199)
新建大型发电机组电气绝缘及耐压交接试验分析·····	谭大治, 贾丽, 朱国辉 (201)

产业技术研究·综合

某石油储运工程陆域工程司法鉴定的案例分析·····	骆忠祥 (203)
基于模糊控制算法调速的煤矿皮带集控系统 设计·····	李东 (205)
浏阳河河长制实施情况遥感监测·····	唐根 (207)
氮与钪、钒、铬共掺杂锐钛矿型 TiO ₂ 第一性原理的研究 ·····	辜永红, 尹洪剑 (211)
油田清防蜡工艺简述与研究·····	安党玺 (215)
简述微生物固定化技术在河流治理中的应用·····	王忠浩 (218)
餐饮油水分离装置性能研究及优化设计·····	宋天楚, 王锦洋, 覃子珍, 等 (220)
仿生模具 3D 打印增材制造的研究及应用 ·····	周艳文, 高超, 邹功成, 等 (223)
基于智能化与信息化的学生关系管理系统设计与构建研究·····	刘颖, 刘磊, 唐懿铭, 等 (229)
基于 Moldflow 的一种快接阀注塑成型方案设计 ·····	刘一聪, 钟璞, 王小明 (231)
高压聚乙烯反应器分解原因分析及对策·····	郭见誉 (234)
基于压电陶瓷材料的能量收集系统·····	李明春, 陈贺, 闫海路, 等 (237)

甲醇制烯烃产品收率的研究..... 马 莹 (239)

精确定位技术在煤矿井下的应用研究..... 张永新 (242)

基于改进 U-Net 网络的图像自动白平衡算法..... 全雪峰 (244)

工业控制自动化系统干扰源与对策..... 徐 余 (248)

计算机图像处理与识别技术应用思考..... 朱沛杰, 金林仟 (250)

基于有限元法的高速列车制动盘散热筋结构优化研究..... 田 露, 郝学军 (253)

资讯信息

《新型工业化》杂志征稿启事 (25)

本刊对来稿中外文字母的正斜体书写要求 (233)

《电子元器件与信息技术》杂志征稿启事 封三

中国总发行 北京市报刊发行局
海外发行总代理 中国国际图书贸易集团有限公司
(北京市海淀区车公庄西路 35 号, 邮编 100044)
印刷: 北京市庆全新光印刷有限公司

国际标准连续出版物号: ISSN 2095-6649
国内统一连续出版物号: CN 11-5947/TB
国际发行代号: M9020
定价: 人民币 50 元
出版日期: 每月 20 日

文章编号: 2095-6649(2021)04-0176-006

中国氢能产业链现状及前景展望

陈宇, 张小玉, 张荣沛

(中船动力研究院有限公司, 上海 201206)

摘 要: 氢能被誉为21世纪最具发展潜力的清洁能源, 在能源革命中占据着举足轻重的位置, 氢的制取、储存、运输和应用的产业链发展也是备受各国关注的焦点。本文对我国氢能全产业链的发展现状进行阐述, 对产业链各环节所涉及的主要企业及国内外差距进行分析。结合氢能发展前景与我国氢能产业现状, 分析了我国氢能产业存在的问题并提出未来的发展方向。

关键词: 氢能; 产业链; 发展现状; 前景

中图分类号: TK91 **文献标志码:** A **DOI:** 10.19335/j.cnki.2095-6649.2021.4.067

本文著录格式: 陈宇, 张小玉, 张荣沛.中国氢能产业链现状及前景展望[J].新型工业化, 2021, 11(4): 176-180, 182.

0 引言

作为一种绿色、高效的二次能源, 氢能还具有热值高、储量丰富、来源广泛等特点, 是各领域进行深度脱碳及实现碳中和目标的绝佳能源。

2019年国家首次将氢能源概念写入《政府工作报告》中, 明确开展推动加氢站等氢能基础设施建设工 作, 年底的《能源统计报表制度》中, 氢气也首次被纳入能源统计范围内。2020年发改委、司法部及能源局先后发布《关于加快建立绿色生产和消费法规政策体系的意见》及《中华人民共和国能源法(征求意见稿)》, 将氢能纳入能源范畴并对其发展制定标准规范和支持政策。同年氢能先后被写入《2020年国民经济和社会发 展计划》、《2020年能源工作指导意见》。

氢能产业链较长, 包括氢气制备、氢能储运、氢能加注及氢能利用等多方面, 一般按上中下游对氢能产业链进行划分, 如图1所示, 制氢为上游产业, 主要方式包括化石燃料制氢、工业副产制氢、可再生能源制氢、高温分解制氢及新兴制氢方式(如生物制氢等), 储运氢为中游产业, 储氢方式主要包括高压气态储氢、低温液态储氢、有机液体储氢固态储氢, 氢能运输主要为车船运输机管道运输方式, 氢能应用及加注为下游产业, 主要包括

了加氢站建设、氢燃料电池和氢内燃机。我国氢能产业链整体虽然发展较快, 但多个环节仍然存在问题, 一些关键材料和部件依赖进口, 关键技术未取得实质性突破, 基础设施建设不足, 这些都会对我国整体氢能产业的发展起到负面的作用。

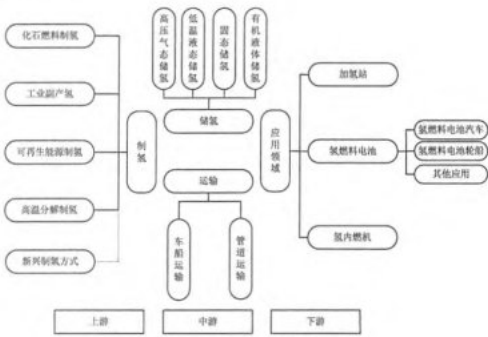
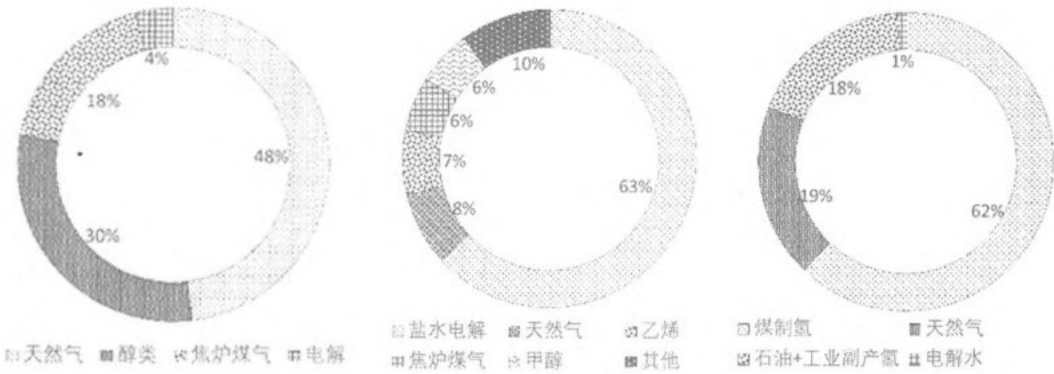


图1 氢能产业链构成

1 制氢产业现状

如图2所示, 全球来看, 目前氢能制备的主要途径还是依靠传统能源的化学重整, 其中天然气重整占比约48%, 真正绿色途径的电解水制氢仅占4%。而日本在电解水制氢方面脚步较快, 其盐水电解制氢的产能占总产能的63%。我国制氢则主要依赖煤气化制氢及工业副产氢的方式, 电解水制氢上我国应用的很少, 仅约1%^[1-2]。



(a) 全球制氢方式占比^[2] (b) 日本制氢方式占比^[2] (c) 中国制氢方式占比
图2 国内外制氢方式占比情况

工业副产制氢具有氢气提纯难度低、耗能低、自动化程度高以及无污染的优势，但工业副产制氢的氢气产量受到主产物产量的限制，长期来看无法成为氢能供应的主要方式。由于化石燃料制氢存在环境污染问题，且我国部分地区可再生资源利用的提高造成我国光伏、风电发电成本降低，电解水制氢这种绿氢制备方式成为目前氢能制备领域最好的选择^[3]。如图3所示，近期氢能仍以化石能源制氢与工业副产制氢为主，随着可再生能源电解制氢的发展和推广及氢能大规模长距离运输的实现，氢能总产量上升，传统制氢方式占比减少，可再生能源电解制氢逐渐成为供氢主体。

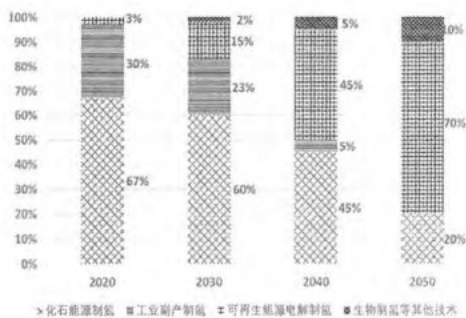


图 3 中国氢能供给结构预测

当前电解水制氢中设备成本和制氢成本中占比最大的分别是电解槽价格和电价，在碱性点解和质子交换膜电解方式中，电解槽分别占总设备成本的50%和60%^[4]，两种电解方式制氢中电价分别占据制氢成本的86%和53%^[1]（以电价0.3元/kWh计）。

1.1 化石燃料制氢

我国煤制氢的主要企业有中国石化、国家能源集团、江苏恒力集团以及山东利津石化。其中产量最大的为国家能源集团，目前年产超过400万吨氢气，为世界首位，而中国石化产量为300万吨/年^[5]。天然气制氢企业主要有常州兰博净化、亚联高科技、上海华西化工等，制氢装置规模及产物指标如表 1所示。

表 1 化石燃料制氢企业装置规模

制氢企业	制氢方式	装置规模(Nm³/h)	氢气纯度
常州兰博净化	天然气制氢	50~50000	99.999%（提纯前）
			99.9995%（提纯后）
亚联高科技	天然气制氢	100~300000	99.9999%（提纯后）
上海华西化工	天然气制氢	100~200000	99.9999%（提纯后）
	煤气化制氢	5000~100000	

煤制氢技术较为成熟，在我国相比天然气制氢而言成本低，煤制氢成本约0.55~0.83元/m³，而我国天然气较依赖进口，因此天然气制氢成本较高，约0.8~1.75元/m³^[6]。

1.2 工业副产制氢

氯碱行业的鸿兴达业和滨化股份在氢能方面已有布局，二者烧碱产能超过100万吨，副产氢可达2.5万吨/年，嘉化能源可实现氯碱副产氢1万吨，同时其产业链可实现

制、储、运、加氢全覆盖。目前我国焦炉煤气制氢龙头是拥有660万吨焦炭产能的美锦能源，副产氢气可达到5.9万吨/年。丙烷脱氢（PDH）方面，国内PDH项目计划2023年产氢37.04万吨/年。卫星石化未来有250万吨乙烷裂解项目投产，产氢16万吨；东华能源现有副产氢5万吨，宁波二期PDH建成后达到7.5万吨。

目前采用PSA技术的焦炉煤气制氢、氯碱尾气制氢等装置已经得到推广。当前氯碱工业副产氢生产成本约1.1~1.4元/Nm³，计入PSA成本后综合成本约1.2~1.8元/Nm³，而焦炉煤气提纯制氢综合成本约0.83~1.33元/Nm³^[7]。

1.3 电解水制氢

当前国内电解水制氢三种技术路线中，碱性水电解槽（ALK）技术较为成熟，国内已实现供液化，苏州竞立、扬州中点、天津大陆制氢等公司当前单台最大产气量为1000Nm³/h^[8]，但设备体积大以及存在污染的问题。质子交换膜水电解槽（PEM）需要采用贵金属催化剂，成本较高，目前国内单台最大产气量为苏州国能圣源的设备，可提供500Nm³/h产量^[8]，在单机能耗上，我国PEM制氢设备较优，但总体规模与国外仍有差距。随着国产质子交换膜技术的不断突破，长期看好PEM电解槽的成本降低和市场份额提高，并与光伏、风电等可再生能源发电方式相结合，发电成本及电价会持续下降，当电价降低至0.3元/kWh以下时，电解水制氢具有较高的经济性。据产业发展报告预测，随着可再生能源发电产业的快速发展，可再生能源发电成本将快速降低，在2030年光伏发电和风力发电成本分别降至0.2元/kWh和0.25元/kWh，电解水制氢的经济性也会随之提升^[1]。固体氧化物水电解槽（SOEC）技术的研发国内外都仍在进行，主要研发机构包括日本三菱重工、东芝、京瓷；美国Idaho国家实验室、Bloom Energy公司；丹麦托普索燃料电池公司；韩国能源研究所；中国科学院、清华大学、中国科技大学等。

当前国内制氢方式相对于国外而言，在环保方面仍有不足，主要以传统化石能源制氢方式为主，结合工业副产制氢方式。出于环保的考虑，以及可再生能源发电的推广及发展造成电价的持续下降，电解水制氢成本降低，传统化石能源制氢方式产量逐渐降低，并被可再生能源发电结合电解水制氢方式取代。电解水制氢方式中，PEM电解制氢处在快速发展阶段，SOEC电解技术国内外也都在加快研发进度。

2 氢气储运产业现状

由于氢气的摩尔质量太低，标准状态下氢气的体积能量密度较低。为了提高氢能的储存运输效率，目前储氢技术使用较多的是高压气态储氢、液态储氢、固态储氢等，氢能运输主要采用陆上运输、海上运输以及管道运输。

各储氢方式特点如表2所示^[9]，低温液态储氢在国外应用较多，我国现阶段普遍采用技术较为成熟的高压

气态储氢技术结合长管拖车运输的方式。这种储运方式在氢能需求量较小，运输距离较短的情况下具有较高的经济性，但随着氢能需求的增大、运输距离的增长，气态储运的方式的经济性必不能满足要求，液态储存方式结合海上运输或管道输氢的方式是氢能储运下一步的发展方向。

表 2 储氢方式对比

存储方法	单位质量 储氢密度 (%)	体积储氢 密度 (g/L)	优点	缺点
高压气态储氢	1.0~5.7	~25	技术成熟、能耗低、成本低	体积密度低、长途运输成本高
低温液态储氢	~5.7	~70.6	体积密度高、运输效率高	液化耗能大、易挥发、成本高
固体储氢	1.0~4.5	\	体积储氢密度高、安全	质量储氢密度低，成本高、吸放氢有温度要求、氢载体质量大
有机液态储氢	5.0~7.2	~60	储氢密度高，存储、运输方便，可循环使用	成本高、操作条件苛刻、有副反应可能

2.1 储氢产业现状

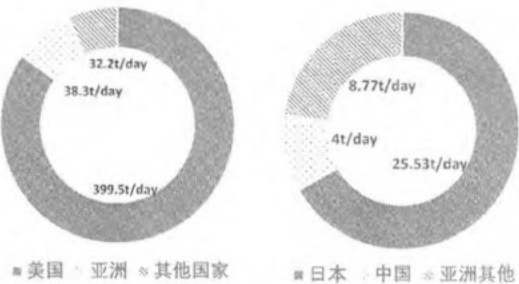
2.1.1 高压气态储氢

目前高压气态储氢方面，国外主流压力等级为70MPa氢瓶，而国内主要采用35MPa氢瓶，70MPa高压储氢在国内还在推广阶段。当前国内35MPa储氢瓶生产公司主要包括中材科技、沈阳斯林达、京城股份等，其中沈阳斯林达已具备70MPa储氢瓶生产资格。

2.1.2 低温液态储氢

低温液态储氢需要将氢气冷却降温至20K，使气态氢转变为液态，使用具有极高保温效果的低温储罐存储。低温液态储氢可将气态氢体积压缩800倍，能量密度远高于高压气态氢气，但在液化以及运输的过程中会存在很大的能耗，当前将1kg氢气液化需耗电4~10kWh，且液态氢过低的温度在储存和运输过程中也会从外界吸热造成蒸发，这对保温材料有极高的要求。

图4展示了液氢的产业现状和占比，如图所示，目前国外储氢采用低温液态储氢占大多数，其中又以美国市场占比最大，以其两个低温液氢巨头公司AP和PRAX为代表^[10]。亚洲市场份额中，日本占据三分之二。我国当前低温液氢存储方面相比国外较为落后，国内低温液氢的产量还很少，几乎全部应用在军用航空领域，且在低温液氢的生产成本上我国相比美国差距很大，约为美国的20倍。鸿达兴业在内蒙古投资的国内首个民用液氢生产项目于2020年4月顺利产出液氢^[11]，这也标志着我国液氢生产成本降低的开始。



(a) 世界低温液氢市场份额占比 (b) 亚洲低温液氢产量占比
图 4 世界与亚洲低温液氢产量分布

2.1.3 有机液态储氢

有机液体储氢利用有机液体（环己烷、甲基环己烷等）与氢气进行可逆加氢和脱氢反应，实现氢的储存。这种储氢方式的优势在于储氢密度比较高（可达到18wt%的储氢密度）、安全性高，但往往需要配备相应的加氢脱氢装置，流程繁琐，效率较低，抬高储氢成本，影响氢气纯度。

武汉氢阳是国内目前唯一一家从事有机液态储氢的公司，其开发的常温常压下液态有机储氢(LOHC)技术攻克了氢气常温常压下液态储存和运输的难题，具有脱氢温度低、储氢可逆及载体无消耗的优势。

2.1.4 固态储氢

固态储氢方式利用某些金属较强的捕捉氢气的能力，这些金属不需要很高的温度和压力便能吸收大量的氢气，生成金属氢化物，而再次对其加热便能将吸收的氢气释放。常用的储氢材料有稀土类化合物、钛系化合物、镁系化合物以及钒、铌等金属合金。这种储氢方式存在一些缺点，如合金自身重量较高，造成单位质量储氢密度低，还有些金属氢化物脱氢需要很高的温度。

国内固态合金储氢还在研发阶段，主要包括应用稀土材料的北京浩云金能、厦门钨业，镁基材料的镁源动力、镁格氢动^[10]。

2.2 氢气输运产业现状

2.2.1 车船运输

当前无论国内还是国外，采用车辆的陆上运氢占大多数，只是国内大多为高压气氢运输，国外液氢技术较为成熟的国家大多采用液氢槽车运输。液氢槽车运输的方式单趟可运输更多的氢，经济性更高。

各储运氢方式的特点如表3所示。即便采用当前运量较大的液氢槽车进行运输，其单趟运量也仅在数吨以内，而采用液氢运输船进行海上运输，单趟运量可达到百吨甚至更多，这种运氢方式相比液氢槽车单趟可运输更多的氢能，且可以实现全球转运。海上运输除了运量和距离的优势外，还可以脱离危化品道路运输的限制。