

《中国氢液化、储运技术及应用白皮书》（2025 版）提纲

一、引言

（一）氢能的重要性

1. 氢能在实现“双碳”目标中的作用
2. 中国氢能产业发展的战略意义

（二）氢能产业链概述

1. 制氢环节
2. 储运环节
3. 应用环节
4. 液氢的生产与储运产业

二、氢能发展趋势与中国低碳能源体系建设

（一）氢能的物理与化学性质

1. 氢气与液氢的性质
2. 液氢性质对储运及应用的影响

（二）国内外氢能发展现状与趋势

1. 国外

（1）美国

- 美国氢能政策与发展战略
- 美国在氢液化、储运技术方面的研发成果
- 美国氢能不同领域的应用案例与规模

（2）欧盟

- 欧盟的氢能政策框架与目标
- 欧盟各国在氢能基础设施建设方面的进展
- 欧盟在氢能技术研发与创新方面的合作模式

（3）日本

- 日本氢能发展的战略规划与政策支持
- 日本在氢燃料电池技术方面的领先地位
- 日本氢能在家用能源供应等领域的应用实践

2. 国内

(1) 中国氢能产业发展现状

- 氢能产业链各环节的企业布局与发展情况
- 国内氢能产业园区的建设与运营模式

(2) 政策支持

- 国家层面出台的氢能相关法律法规
- 地方政府在氢能产业发展中的扶持措施

(3) 技术创新

- 国内在氢液化、储运等关键技术方面的研究与进展
- 科研机构与企业在氢能技术研发中的合作与竞争关系

(三) 氢能在中国低碳能源体系中的定位与作用

1. 氢能在能源结构调整中的角色
2. 氢能与可再生能源的协同发展
3. 氢能对中国能源安全的影响

三、氢液化技术及装备

(一) 氢液化原理与关键技术

1. 氢气液化循环类型
2. 关键技术与装备

(二) 氢液化装置的发展与特点

1. 国内外大型氢液化装置案例分析

(1) 国外典型大型氢液化装置

(2) 国内大型氢液化装置建设情况

2. 氢液化技术的发展趋势与挑战

(1) 技术发展趋势

(2) 面临挑战

(三) 氢液化技术在能源领域的应用前景

1. 在分布式能源系统中的应用
2. 在工业领域的应用拓展
3. 在航空航天领域的应用前景
4. 在储能领域的应用前景
- ...

四、液氢储运技术及装备

（一）液氢储罐的类型与特点

1. 固定式液氢储罐
2. 移动式液氢储罐
3. 罐式集装箱式液氢储罐
- ...

（二）液氢的运输方式与特点

1. 陆运
2. 海运
3. 管道输送

（三）液氢储运关键装备及技术要求

1. 液氢泵
2. 液氢加注枪与加氢站控制系统
3. 液氢储运装备的技术标准与规范

五、液氢加氢技术与基础设施

（一）液氢加氢站的类型与特点

1. 液氢储存型加氢站
2. 液氢加注型加氢站

（二）液氢加氢站的关键技术与设备

1. 氢气压缩机与液氢泵

- (1) 氢气压缩机在加氢站中的作用与选型
- (2) 液氢泵的技术特点与应用要求

2. 液氢加注枪与加氢站控制系统

- (1) 液氢加注枪的设计与优化
- (2) 加氢站控制系统的智能化管理
- (三) 液氢加氢站的发展现状与趋势

1. 国内外液氢加氢站建设情况

- (1) 国外液氢加氢站的建设规模与布局
- (2) 国内液氢加氢站的发展现状与规划

2. 液氢加氢站的技术创新与发展方向

- (1) 提高加注速度与效率的技术研究
- (2) 与其他能源基础设施的融合发展

六、氢安全风险评估与预防技术

(一) 低温氢储运的安全风险与防范措施

1. 氢气泄漏扩散规律与防范措施

- (1) 泄漏扩散的物理过程与影响因素
- (2) 泄漏检测技术与设备
- (3) 防范措施与应急响应机制

2. 加氢站液氢储存及氢气本身的特性与安全风险

- (1) 液氢储存的安全风险分析
- (2) 氢气燃烧与爆炸的特性及危害
- (3) 安全防护措施与技术手段

(二) 低温氢加注过程的安全风险与防范措施

1. 液氢输送管道的风险与防范措施

- (1) 管道泄漏与破裂风险分析
- (2) 管道的保温与绝热措施
- (3) 管道的监测与维护技术

2. 液氢加注系统的设计与操作要求

- (1) 加注系统的安全设计要点
- (2) 操作人员的培训与管理
- (3) 加注过程中的安全监控与应急措施
- (三) 低温氢的安全风险及评估方法

1. 氢气泄漏火灾产生的热辐射和轰爆产生的超压进行死亡模型建立

- (1) 热辐射对人体的伤害机制与评估模型
- (2) 轰爆超压对周围环境与人员的危害分析
- (3) 综合风险评估模型的构建与应用

2. 风险评估流程与方法

- (1) 风险评估的基本流程
- (2) 常用的风险评估方法
- (3) 风险评估结果的应用与决策支持
- (四) 液氢的生产过程安全操作规程

1. 液氢生产系统的设置与要求

- (1) 生产设施的布局与设计原则
- (2) 安全防护设施的配备

2. 氢液化装置与液氢转运加注及贮存的安全规程

- (1) 氢液化装置的操作规范
- (2) 液氢转运过程中的安全要求

(3) 液氢贮存的安全管理

(五) 低温氢主动安全预防及防护技术

1. 氢加注安全策略与储运安全策略

(1) 主动安全监测与预警技术

(2) 安全防护设施的优化与升级

(3) 人员安全培训与教育

2. 氢泄漏及排氢安全策略与加氢站安全预防策略

(1) 泄漏检测与应急处理技术

- 快速准确的泄漏检测方法及设备
- 制定针对不同泄漏情况的应急处理预案

(2) 排氢系统的安全设计与运行管理

- 确保排氢过程的安全性与环保性
- 对排氢系统进行定期检查与维护

(3) 加氢站的整体安全预防措施

- 加氢站的选址与布局规划
- 建立完善的安全管理体系与应急预案

(六) 低温氢被动安全预防及防护技术

1. QRA 氢风险评估方法与应用

(1) QRA 方法的基本原理与流程

- 定量风险评估的概念与特点
- 风险识别、分析与评价的具体步骤

(2) 在液氢设施中的应用案例

- 对液氢生产、储存、运输等环节的风险评估
- 根据评估结果制定安全改进措施

(3) QRA 方法的优势与局限性

- 与其他风险评估方法的比较

- 在实际应用中的改进方向

2. 液化加氢站的定量风险评估与安全防护措施

(1) 定量风险评估模型的建立与应用

- 考虑多种风险因素的综合评估模型
- 利用模型进行风险评估与决策支持

(2) 基于评估结果的安全防护措施制定

- 针对不同风险等级的防护措施建议
- 安全防护措施的优化与持续改进

(3) 液化加氢站安全防护的技术创新与发展趋势

- 新型安全防护技术的研发与应用
- 提升液化加氢站整体安全水平的方向

七、液氢应用案例与经济性分析

(一) 液氢在能源领域的应用

1. 航天与航空动力

- 液氢作为火箭推进剂的核心燃料（如 SpaceX、NASA 等案例）。
- 航空领域替代传统化石燃料的潜力（如氢能飞机研发进展）。
- 高能量密度与零碳排放的优势分析。

2. 储能与电网调节

- 液氢在长时储能中的角色（解决可再生能源波动性问题）。
- 液氢与氨、甲醇等载体的耦合应用（跨区域能源输送）。
- 液氢燃料电池在分布式电网中的示范项目。

3. 工业与交通脱碳

- 重卡、航运等领域的液氢动力系统开发（如丰田、现代的氢能卡车）。
- 工业高温工艺（如钢铁、化工）中替代煤炭的应用场景。
- 液氢加注站与基础设施布局现状及挑战。

(二) 液氢技术的关键挑战与突破方向

1. 制备与液化技术优化

- 电解水制氢与化石能源重整制氢的成本对比。
- 液化能耗高（约 30% 氢气能量损失）的技术改进路径。
- 大型液化装置国产化与规模化降本趋势。

2. 储存与运输瓶颈

- 超低温储存容器的材料与绝热技术（如多层绝热、真空夹层）。

- 液氢运输船、罐车的技术标准与安全规范。
- 泄漏检测与应急处理技术的完善需求。

3. 应用端适配性

- 液氢燃料电池的耐久性与低温启动性能优化。
- 与现有能源系统的兼容性（如掺氢天然气、电网耦合）。
- 商业模式与市场需求驱动的技术迭代方向。

（三）液氢发展的经济性与市场前景

1. 经济性与市场潜力

- 液氢成本下降曲线预测（规模化效应与技术进步）。
- 不同应用场景的经济可行性分析（航天 vs. 交通 vs. 储能）。
- 氢能产业链上下游协同发展的市场机遇。

2. 风险与可持续发展

- 液氢全生命周期碳排放核算与碳足迹管理。
- 技术路线竞争（液氢 vs. 固态储氢 vs. 有机液态储氢）。
- 公众接受度与科普教育对市场推广的影响。

八、政策支持与产业发展环境

（一）国家层面政策解读

1. 氢能产业相关政策法规梳理

（1）能源领域相关政策

- 国家对清洁能源发展的总体战略规划
- 涉及氢能作为能源的政策条款与目标

（2）环保领域相关政策

- 减排目标对氢能产业发展的推动作用
- 鼓励企业采用氢能技术减少碳排放的政策措施

（3）科技研发支持政策

- 国家对氢能技术研发的资金投入与补贴政策
- 科研项目立项与成果转化的支持机制

2. 政策对氢能产业发展的引导作用

（1）产业发展方向的指引

- 政策如何引导企业布局氢能产业链不同环节
- 对重点发展领域与技术的明确导向

(2) 市场培育与推广的支持

- 政策在促进氢能产品市场应用方面的举措
- 如何通过政策手段降低氢能产品市场准入门槛

(二) 地方层面政策与实践

1. 典型地区氢能产业发展政策案例

(1) 政策制定背景与目标

- 当地发展氢能产业的优势与契机
- 政策期望达成的具体产业发展目标

(2) 政策主要内容与特色举措

- 对氢能企业的扶持政策（如税收优惠、土地供应等）
- 推动氢能基础设施建设的专项措施

(3) 政策实施效果与经验借鉴

- 当地氢能产业在政策推动下的发展成果
- 其他地区可借鉴的政策经验与启示

2. 地方政策与国家政策的协同配合

(1) 地方政策如何落实国家战略

- 地方在贯彻国家氢能政策方面的具体行动
- 如何将国家目标细化为地方实施方案

(2) 区域间政策的协调与合作

- 不同地区在氢能产业发展中的合作模式与案例
- 如何避免区域政策冲突，实现协同发展

(三) 产业发展环境分析

1. 市场需求与竞争态势

(1) 氢能产品与服务的市场需求现状

- 不同应用领域对氢能的需求规模与增长趋势
- 市场需求的驱动因素与潜在需求挖掘
- 液氢经济性与市场发展分析、市场规模预测

(2) 国内外企业竞争格局分析

- 主要国内外氢能企业的市场份额与竞争优势
- 企业在技术研发、市场拓展等方面的竞争策略

2. 产业配套与基础设施建设

(1) 氢能产业链上下游配套情况

- 上游制氢企业与下游应用企业的合作模式
- 关键零部件与材料供应的稳定性与可靠性

(2) 加氢站等基础设施建设的进展与挑战

- 国内加氢站的建设数量、分布情况
- 建设过程中面临的技术、资金、政策等方面的挑战

九、未来展望与发展趋势

(一) 技术创新方向预测

1. 氢液化技术突破方向

(1) 提高液化效率的新技术研发

- 新型液化循环的理论研究与实践探索
- 关键设备性能提升的技术路径

(2) 降低液化能耗的新技术研发

- 利用现有能源（LNG 预冷等）
- 优化工艺流程
- 提高关键设备性能

(3) 与其他能源系统的耦合创新

- 氢液化与可再生能源制氢的一体化技术
- 液氢在多能互补系统中的应用前景

2. 储运技术创新

(1) 新型储氢材料的研发与应用

- 具有高储氢容量、良好安全性的材料探索
- 储氢材料的制备工艺与成本控制

（2）低温高压储氢技术

- 技术原理与优势
- 技术挑战与发展方向
- 应用场景与市场前景

（3）超音速两相膨胀制冷液化技术

- 技术原理与优势
- 技术挑战与发展方向
- 应用场景与市场前景

（二）液氢应用端创新趋势

1. 核心领域突破性应用

- 交通领域：液氢重卡、船舶、航空动力实现商业化，推动长途运输脱碳
- 工业脱碳：液氢替代煤炭用于钢铁、化工等高温工艺，助力绿色制造
- 能源存储：液氢储能系统优化，提升电网调峰能力与可再生能源消纳

2. 技术革新驱动效率提升

- 储运优化：新型低温材料、移动式加注技术降低能耗，提高储运效率
- 终端创新：轻量化燃料电池、氢-电混合动力系统拓展应用场景
- 数字赋能：AI 供应链管理、数字孪生技术提升液氢产业链协同效率

3. 跨界融合与生态构建

- 全球协作：跨国氢能贸易网络与标准化建设加速全球氢能流动
- 产学研联动：政府、企业、科研机构联合推动液氢技术商业化落地
- 绿色金融：碳交易、绿色融资助力液氢项目规模化发展

（三）液氢技术市场发展的预测

1. 市场规模快速增长

- 全球液氢市场预计 20XX 年达 XX 亿美元，年均增速超 XX%
- 中国液氢市场 20XX 年规模突破 XX 亿元，占全球份额 XX%
- 政策支持+技术降本+能源转型需求驱动增长

2. 核心技术持续突破

- 制氢技术：绿氢成本降至 XX 美元/kg，电解槽效率提升
- 储运技术：新型绝热材料应用，运输损耗降低 XX%
- 应用技术：氢燃料电池寿命突破 XX 万小时，效率超 XX%

3. 多元化应用场景拓展

- 交通领域：氢能重卡/船舶/航空实现规模化商用
- 工业脱碳：绿色化工、冶金等高温工艺液氢替代
- 新兴市场：航天燃料、超导输电等前沿领域探索