



全国汽车标准化技术委员会

National Technical Committee of Auto Standardization

《液氢燃料电池电动汽车示范运行》 标准领航项目研究报告

全国汽车标准化技术委员会

电动车辆分技术委员会

2026 年 6 月

前言

随着全球能源结构加速向低碳化、清洁化转型，氢能作为未来能源体系的重要组成部分，已成为世界各国竞相布局的战略方向。液氢燃料电池电动汽车，尤其在商用车领域，凭借液氢极高的体积能量密度，能够显著提升单次加注续驶里程，有效破解中长途、中重型商用车“里程焦虑”难题，其经济性和适用性优势日益凸显，正逐步成为氢燃料电池汽车产业发展的关键路径之一。

我国已将氢能与燃料电池汽车产业纳入国家战略性新兴产业，先后出台《新能源汽车产业发展规划（2021-2035 年）》《氢能产业发展中长期规划（2021-2035 年）》等系列政策文件，明确将氢能定位为未来国家能源体系的重要组成部分。

《氢能产业发展中长期规划（2021-2035 年）》提出到 2025 年燃料电池车辆保有量达到约 5 万辆的目标，《节能与新能源汽车技术路线图 3.0》进一步明确了氢燃料电池汽车百万辆规模的中远期发展愿景。液氢作为实现氢气大规模、低成本、高效率储运的有效技术路线，是打通氢能产业规模化应用瓶颈的关键环节。当前，国内多个液氢生产及示范项目相继落地，液氢日产能累计已达百吨级以上规模，液氢燃料电池商用车的样车开发与道路实测工作稳步推进，示范运行条件日趋成熟。然而，液氢具有超低温、易汽化、可燃等特殊物理化学性质，其车载储存、加注、运行及停放等环节的安全风险与高压气氢车辆存在显著差异。现行国家标准 GB/T 29123-2025《燃料电池电动汽车运行和存放技术规范》适用范围未包含液氢燃料电池电动汽车，液氢车辆在日常使用、运输、转运及停放等方面的安全规范尚属空白，亟需开展专项标准研究，为液氢燃料电池电动汽车的示范运行提供科学、系统的技术依据。

《液氢燃料电池电动汽车示范运行》标准领航项目研究，聚焦液氢燃料电池电动汽车在示范运行阶段的关键安全要求，系统梳理了整车氢气排放与泄漏、车载液氢系统配置、加氢站适配、人员管理、车辆运行与停放、燃料加注、维护保养及应急处置等全流程技术规范。研究团队通过调研国内现有液氢示范项目，结合液氢系统静态蒸发特性、换热器供氢能力及加注工艺等工程实践，提出了适用于液氢车辆的差异化安全技术要求，形成了涵盖“车辆-人员-设施-管理”四位一体的示范运行技术规范框架。本研究的成果将为后续液氢燃料电池电动汽车运行和

存放国家标准的制定提供核心技术支撑，推动我国液氢燃料电池汽车产业安全、有序、高质量发展。

项目牵头单位：北汽福田汽车股份有限公司、未势能源科技有限公司

项目参与单位：中国汽车技术研究中心有限公司、一汽解放汽车有限公司、东风汽车集团有限公司、中汽研新能源汽车检验中心（天津）有限公司、厦门金龙联合汽车工业有限公司、东方电气（成都）氢能科技有限公司、深蓝汽车科技有限公司、上海舜华新能源系统有限公司、佛山仙湖实验、戴姆勒(中国)商用车投资有限公司、宇通客车股份有限公司、烟台东德实业有限公司、北京亿华通科技股份有限公司、北京氢璞创能科技有限公司、中国汽车工程研究院股份有限公司、天津新氢动力科技有限公司

主要编写人：姚东升、王宏昊、李新乐、邓莉莉、何云堂、苏智阳、张驰、陈明、张妍懿、杨福清、魏小童、黄书隆、赵晓晓、郑灏、郝庆栋、张龙海、李可敬、裴冠茹、朱俊娥、卿铜、靳殷实。

目 次

1 研究背景	5
1.1 全球氢能发展战略及趋势	5
1.2 我国氢能及燃料电池汽车产业战略布局与现状	5
1.3 液氢燃料电池电动汽车的技术优势与示范运行必要性	6
1.4 现行标准亟待补充完善	6
2 基本要求	6
2.1 整车氢气排放	7
2.2 整车氢气泄漏	7
2.3 氢气低剩余量提醒	8
2.4 整车防静电要求	8
2.5 车载液氢系统要求	8
3 加氢站研究	10
4 管理体系	12
5 参加人员	12
6 车辆运行	13
6.1 车辆起动	13
6.2 车辆行驶	13
6.3 车辆停车	17
7 车辆转运	18
7.1 液氢瓶压力要求	18
7.2 装载	18
7.3 转运	19
8 车辆停放与存放	19
8.1 日常停放	19
8.2 长期存放	19
8.3 其他	19
9 车辆燃料加注	19
9.1 加注前要求	20
9.2 加注中要求	21
9.3 加注后要求	21
9.4 测试数据	22
10 车辆维护	22
11 车辆应急措施	22
12 车辆手册要求	23

1 研究背景

1.1 全球氢能发展战略及趋势

在全球应对气候变化、推动能源结构转型的大背景下，氢能因其来源广泛、清洁无碳、应用场景丰富，被视为实现“碳达峰、碳中和”目标的重要能源载体。截至目前，全球已有超过40个国家和地区发布了氢能发展战略，欧盟通过《欧洲氢能战略》规划了绿氢规模化发展路径，美国发布《国家清洁氢能战略路线图》，日本、韩国等国也将氢能上升为国家能源战略核心。交通运输领域作为全球碳排放的主要来源之一，其脱碳进程直接关系“双碳”目标的达成。氢燃料电池汽车凭借零排放、续驶里程长、加注时间短等优势，尤其在重载、长途商用车领域，被公认为纯电动汽车的重要补充和终极解决方案之一。

液氢作为氢气的深冷液态形式，其体积能量密度约为35MPa高压气氢的3倍，能够使车载储氢量大幅提升，将燃料电池重卡的续驶里程提升至800公里以上，有效解决气氢车辆续航不足的痛点。同时，液氢在大规模储运环节的成本优势显著，是实现氢气从制取到终端使用全链条降本增效的关键技术路线。国际能源署（IEA）预测，到2030年全球清洁氢需求将大幅增长，液氢相关基础设施和车辆技术将成为未来氢能产业竞争的核心领域。

1.2 我国氢能及燃料电池汽车产业战略布局与现状

我国高度重视氢能及燃料电池汽车产业发展，已将其纳入国家能源战略和战略性新兴产业的顶层设计。《氢能产业发展中长期规划（2021-2035年）》明确提出，到2025年氢燃料电池车辆保有量达到约5万辆，到2035年形成氢能产业体系，构建涵盖交通、储能、发电等多元应用的氢能生态。2026年全国两会进一步强调，要加快氢能关键技术攻关，完善加氢站等基础设施建设，推动氢燃料电池汽车在商用车领域的规模化示范应用。在政策引导下，我国已初步形成了涵盖氢能制取、储运、加注、燃料电池及整车制造的完整产业链，燃料电池汽车示范城市群建设成效显著，氢燃料电池商用车在港口、物流、公交等场景的运营规模持续扩大。

液氢技术作为氢能产业链的关键环节，近年来在国内取得重要突破。目前，全国已建成及在建的液氢生产项目产能规模持续扩大，液氢加氢站示范项目已在四川

攀枝花落地运行，液氢燃料电池重卡已完成样车开发并进入道路实测阶段。这些成果为液氢燃料电池电动汽车的规模化示范运行奠定了坚实的产业基础。

1.3 液氢燃料电池电动汽车的技术优势与示范运行必要性

液氢燃料电池电动汽车相较于高压气氢车辆，具有显著的性能优势：一是车载储氢质量密度更高，液氢系统质量储氢密度可达8%以上，显著优于高压气氢系统，使车辆在相同载重条件下拥有更长的续驶里程；二是加注速度更快，液氢加注速率可达15kg/min以上，与柴油车加油时间相当，有效提升运营效率；三是液氢储罐工作压力相对较低（通常设计压力在1.6MPa左右），相较于高压气瓶的70MPa，在储氢容器安全性方面具有固有优势。

然而，液氢的超低温（-253℃）特性带来了一系列新的安全挑战：液氢系统存在不可避免的静态蒸发，需合理排放氢气；液氢泄漏后迅速汽化，易在封闭空间形成可燃气；液氢加注过程涉及预冷、吹扫、压力平衡等复杂工序，对设备和人员操作要求极高。因此，在液氢燃料电池电动汽车大规模市场化之前，必须通过规范化的示范运行，验证技术的可靠性、安全性和经济性，积累全生命周期数据，暴露并解决实际问题，为后续商业化推广铺平道路。示范运行不仅是技术迭代的必由之路，也是完善标准法规、培养专业人才、构建产业生态的关键举措。

1.4 现行标准亟待补充完善

目前，我国已建立了较为完善的燃料电池电动汽车标准体系，GB/T 29123-2025《燃料电池电动汽车运行和存放技术规范》对于维护燃料电池电动汽车安全的示范运行起到了显著的促进作用。随着液氢燃料电池电动汽车的高速发展，其日常使用、运输和转运等场景的安全问题随之凸显。GB/T 29123-2025适用范围不包含液氢燃料电池电动汽车，液氢车辆在示范运行期间的安全管理、操作流程、应急措施等缺乏直接适用的标准依据。同时，车载液氢系统的安装要求、泄放装置布置、静态蒸发处理、低剩余量警示、隧道行驶限制等特定要求，在现有标准中未涉及。为了保证液氢燃料电池电动汽车示范运行的安全进行，有必要针对液氢燃料电池电动汽车的示范运行制定相关的标准进行研究，为产业安全健康发展提供制度保障。

2 基本要求

液氢燃料电池电动汽车，车辆安全应符合GB/T 24549的规定。

2.1 整车氢气排放

整车氢气排放同气氢车辆氢气排放要求一致，此处整车氢气排放指的通过车辆排气管排的氢气，一般排气管位于车辆底部，需对排放浓度进行规定，具体要求如下：。按照 GB/T 37154-2018 中 6.1 怠速热机状态氢气排放章节规定的试验方法进行测试，在进行正常操作（包括启动和停机）时，任意连续 3s 内的平均氢气体积浓度应不超过 4%，且瞬时氢气体积浓度不超过 8%。

由于液氢系统的特有静态蒸发特性，液氢系统静态蒸发不可避免，无法规定静态蒸发排放的氢气浓度，针对液氢系统静态蒸发，车载液氢系统泄放装置要求如下：安全泄压装置（PRD）释放管路的出口应位于车辆的高处，排放出口应朝向上方或侧上方，不能朝向驾驶室及货箱方向，排放出口周边无遮挡，应能保证氢气排气畅通。本条款体现在 2.5 车载液氢系统要求内。

2.2 整车氢气泄漏

- 1) 车载液氢系统泄漏或渗透的氢燃料，不应直接排到驾驶室、货舱，或者车辆中任何有潜在火源风险的封闭空间或半封闭空间。
- 2) 在驾驶员容易识别的区域应安装氢气泄漏报警提醒装置，泄漏浓度与警告信号的级别由制造商根据车辆的使用环境和要求决定。
- 3) 车载液氢系统在氢气易聚集位置应至少安装三个氢气泄漏探测传感器，实时检测氢气的泄漏量，并将信号传递给氢气浓度报警装置。
- 4) 封闭空间或半封闭空间中氢气体积浓度达到1.0%~2.0%时，应发出警告。
- 5) 当封闭空间中氢气体积浓度超过2.0%时，应立即自动关断氢气供应，如果车辆装有多多个车载液氢瓶，允许仅关断有氢泄漏部分的氢气供应。
- 6) 当氢气泄漏探测传感器发生故障时，如信号中断、断路、短路等，应能向驾驶员发出故障警告信号。

由于液氢车辆的静态蒸发特性，相比于气氢车辆，要求封闭空间或者半封闭空间氢气体积浓度加严，条款如2)和3)。

或者条款改为封闭空间或半封闭空间中车载液氢系统泄压装置需连接排放管路，将静态蒸发的氢气排放于封闭或半封闭空间外。氢气体积浓度达到1.0%~3.0%

时，应发出警告。当封闭空间中氢气体积浓度超过3.0%时，应立即自动关断氢气供应，如果车辆装有多多个车载液氢瓶，允许仅关断有氢泄漏部分的氢气供应。

2.3 氢气低剩余量提醒

车载液氢系统为了保证气瓶处于冷态，一般针对低剩余量进行提醒，当液氢剩余量低于最大充装量5%时应提供警示信号，标准条款可不体现具体数值。

车载液氢存储系统的液量显示应为仪表显示，液量显示单位为升或百分比。车辆应能在车载液氢储存系统液量低时发出报警信号（例如：声或光信号），提示加注液氢。

2.4 整车防静电要求

- 1) 车辆应安装导静电橡胶拖地带，导静电带橡胶带体上应清晰标识允许磨损指示线。
- 2) 导静电带应柔顺平直，表面应光洁、无油污，不应有喷霜、裂纹、气泡等。
- 3) 在静电危险场所，所有对地绝缘的静电导体应接地。对金属物体应采用金属导体与大地做导通性连接。对金属以外的静电导体及亚导体则应作间接接地。
- 4) 导静电带与地面摩擦时，不应产生火花。
- 5) 配重件应位于允许磨损指示线上方，且应确保导静电带始终着地。
- 6) 车载液氢系统应可靠接地。
- 7) 车载液氢系统和车架连接如果有非金属隔离应导电跨接，防护要求应符合 GB 18384-2025中5.1.4.3的要求。

5.1.4.3电位均衡要求

用于防护与B级电压电路直接接触的外露可导电部分，例如，可导电外壳和遮栏，应传导连接到电平台，且满足以下要求：

a) 外露可导电部分与电平台间的连接阻抗应不大于0.1Ω；

b) 电位均衡通路中，任意两个可以被人同时触碰到的外露可导电部分，即距离不大于2.5m的两个可导电部分间电阻应不大于0.2Ω。

若采用焊接的连接方式，则视作满足上述要求。

图1 GB/T 18384-2025电位均衡要求

2.5 车载液氢系统要求

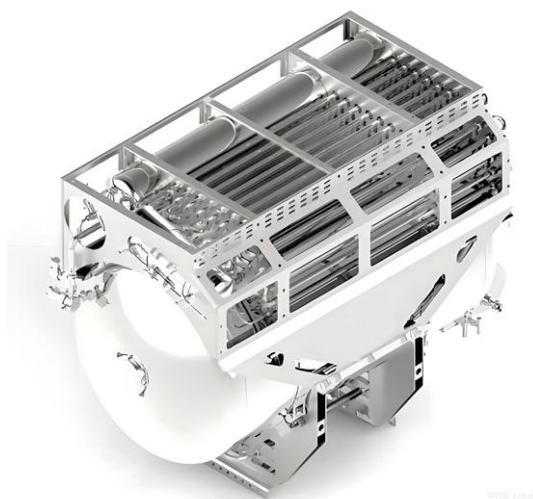


图2 典型车载液氢系统示例图

根据福田车载液氢系统搭载经验，提出以下条款：

- 1) 车载液氢系统应具备安全阀，供氢压力、气瓶压力、氢浓度、液位等传感器；车载液氢瓶符合团标T_CATSI 02020-2025的要求。
- 2) 车载液氢系统应具备切断液氢供应的主切断阀；
- 3) 车载液氢系统具备氢气排放管路，包括：排放管、放空阀、安全阀等。
- 4) 车载液氢系统输出氢气的压力、温度应满足燃料电池系统的使用要求；
- 5) 车载液氢系统应具备紧急切断向燃料电池系统供应氢的功能；
- 6) 安全泄压装置（PRD）释放管路的出口应位于车辆的高处，排放出口应朝向上方或侧上方，不能朝向驾驶室及货箱方向，排放出口周边无遮挡，应能保证氢气排气畅通。
- 7) 车载液氢瓶安装应布局合理，排列整齐，安装后不得超出车辆的外轮廓边缘。
- 8) 车载液氢瓶安装应充分考虑使用环境可能对液氢瓶造成的损伤；如果采用纵向安装方式，即液氢瓶的轴线与车辆的纵轴平行，则液氢瓶装阀门的一端应朝向车辆的尾部，同时建议留足够空间便于安装维护。
- 9) 车载液氢储存系统任何部位的离地间隙不应成为车辆的最小离地间隙，除非对液氢系统进行了足够的保护。
- 10) 车载液氢系统的安装应满足车辆承载件的强度和刚度及其他相关汽车安全部件的要求，不应采用导致车辆承载件强度和刚度降低的安装方法，不应将液氢系统作为承载件使用。

11) 系统安装后气瓶无变形、磨损，各部件应有防松措施，不应有松动、脱落等现象。

3 加氢站研究

全球液氢加氢站的建设与各国氢能战略紧密相关，已形成多个特色鲜明的示范区域，目前欧洲凭借其强大的工业基础和严格的碳排放法规，在液氢商用车的示范运营上走在前列。

表1 全球液氢加氢站

地区	代表站点	核心特点与驱动
欧洲	鹿特丹港站、科隆站	重型商用车、港口物流、欧盟绿色协议驱动
美国	加州西萨克拉门托站	港口重型卡车、商业化先驱、加州零排放政策
日本	东京“H2 辉耀”站、川崎集群	国家战略、全产业链展示、奥运示范效应

目前调研国内液氢项目共11项。其中能够液氢直接加注示范运行项目1项，液氢产能已达30t/d。

表2 中国液氢项目

液氢项目			
序号	地点	项目名称	规模及进展
1	浙江嘉兴	空气海盐氢能源和工业气体综合项目	一期 30 吨/天，已生产
2	安徽阜阳	阜阳市颍东化工园区液氢项目	5 吨/天，已生产
3	内蒙古	空气产品久泰（内蒙古）液氢项目	30 吨/天，获批
4	河南洛阳	华久氢能液氢项目	8.5 吨/天
5	山东淄博	国富氢能-齐鲁化工液氢项目	10 吨/天，完成核心设备安装
6	河北保定	未势能源液氢项目	0.5 吨/天，开工
7	重庆	三十三集团液氢项目	5 吨/天，开工

8	四川攀枝花	攀枝花市液氢应用示范项目	5 吨/天，液氢加注示范运行
9	湖南岳阳	巴陵石化&湖南核电液氢项目	60 吨/天，开工
10	内蒙古呼和浩特市	AP 内蒙呼市液氢项目	30 吨/天，开工
11	浙江嘉兴	林德嘉兴液氢项目	30 吨/天

液氢加氢站加注有两种技术路线：直接液氢加注（液氢车辆）和高压气化加注（气氢车辆）。

表3 液氢加氢站加注路线

技术路线	直接液氢加注	高压气化加注
描述	直接将液氢加注到配备车载液氢储罐的车辆中。这是液氢应用的“终极形式”。	站内核心储存介质为液氢，通过液氢泵加压、汽化器升温，转化为高压气态氢（通常为 35/70 MPa），再通过传统气氢加注机为燃料电池乘用车或商用车加注。
优势	能量效率最高，加注速度最快，最适用于对续航和载重有严苛要求的重型长途车辆。	可利用现有气氢车辆市场，是过渡期内提高站内储氢能力和加注效率的优选方案。技术相对成熟。
技术挑战	需要超低温绝热的加注枪和管路、车载液氢储罐、以及更复杂的预冷和压力管理协议。	
案例	日本东京“H2 辉耀东京”站（兼具两种功能）、荷兰鹿特丹港站、美国加州为重卡服务的专用站。	中国北京大兴海珀尔加氢站、美国许多早期的液氢示范站。

1) 加氢站应满足GB/T 29124-2025中5.1的要求。

5.1 加氢站要求
5.1.1 加氢站的操作、维修等相关人员进入工作场所，应先导除自身静电，不应穿戴化纤工作服、工作帽和带钉鞋，严禁带入火种。
5.1.2 加氢站内的通风系统应符合GB 50516中的要求，氢气检测报警仪、电气设施和消防设施的配置，应符合GB/T 34584中的要求。
5.1.3 加氢站内汽车之间的间距应符合紧急疏散的条件，车辆纵向排队间距宜大于1.5m。
5.1.4 加氢站内应设有禁止接打手机、禁止使用非防爆无线电设备等安全标识。
5.1.5 加氢站内的各设备与组件应符合GB/T 43674中的要求。加氢站运行和维护管理，应遵循GB 50516和GB 50156中的要求。

图3 GB/T 29124-2025中加氢站要求

2) 加氢站液氢设备及其附件应符合GB/T 43674-2024中6.5要求。

6.5液氢设备及其附件

6.5.1一般要求

6.5.1.1液氢储存压力容器应符合GB50516、GB50156以及特种设备相关规定。

6.5.1.2用于储存和输送液氢和低温氢气的设备和零部件的材料应具有良好的氢相容性。

6.5.1.3液氢储存压力容器的底座或支架应选用不燃且能承受液氢泄漏带来的低温伤害的材料，且底座或支架应具有足够的耐火性能。

6.5.1.4液氢储存压力容器支承和基础应防止液氢或其他液态燃料在容器下方积聚。

6.5.2低温阀门、管道与管件6.5.2.1低温下使用的阀门、管道与管件应符合GB50156、GB50516、GB/T29729规定的要求。

6.5.2.2在低于空气冷凝温度下运行的无绝热措施的管道和设备，不应安装在沥青或其他可燃材料的表面上，可在下方设置固定式集液盘。

图4 GB/T 43674-2024中加氢液氢设备及其附件要求

4 管理体系

管理体系应包括完善的组织管理制度、安全管理制度、安全操作规程、安全生产责任制度、风险管理体系、应急抢修人员和设备。

5 参加人员

- 1) 参加人员应接受必要的专业技术和岗位培训，获得相应的上岗资格。
- 2) 涉液氢操作的人员安全与防护应符合GB/T 29729-2022、GB/T 40060的有关规定。GB/T 29729-2022 氢系统安全的基本要求内针对涉氢操作人员及操作程序，如图5所示。

7.6.1操作程序

7.6.1.1作业人员应按规定的操作程序操作。

7.6.1.2清洗、吹扫、冷却、储存（特别是充装）、输送、泄漏检测、设备修理和改造等操作应制定操作程序。

7.6.1.3应定期评估操作程序以确保其有效性。

7.6.2作业人员

7.6.2.1作业人员上岗时应穿符合GB12014规定的阻燃、防静电工作服和符合GB21148规定的防静电鞋，且应配戴必要的个人防护装置。

7.6.2.2作业人员应经过岗位培训，考试合格后持证上岗。特种作业人员应经过专业培训，持有特种作业资格证，并在有效期内持证上岗。

7.6.2.3作业人员应定期进行再培训，并定期审查培训项目以确保培训方案实时有效。

7.6.2.4作业人员应能处理相关设备和系统的紧急情况，包括氢泄漏、火灾等突发事件发生时的人员疏散、意外伤害的预防和紧急救护等。

7.6.2.5作业人员应无色盲或其他影响正常作业的生理缺陷或疾病，且作业前不应进行影响正常作业的活动。

图5 GB/T 29729-2022 涉氢操作人员及操作程序

GB/T 40060液氢贮存和运输技术要求针对安全与防护相关条款如下所示：

7 安全与防护

7.1 操作安全

7.1.1 液氢具有一定的危险性，液氢的危险性参见附录A。

7.1.2 液氢容器在使用前应检查各种阀门、仪表、安全装置是否齐全有效、灵敏可靠、在检验有效期内。液氢容器应配置禁油压力表、手动或自动泄放阀、安全阀、爆破片，爆破片安全装置的材质应选用不锈钢、铜或铝，并应脱脂去油。

7.1.3 液氢容器的充装量应符合贮罐的设计文件要求，液氢容器（用于生产系统的液氢专用接收容器除外）泄出后剩余量不应少于总容的5%

7.1.4 液氢容器常温充灌时，加注口阀门的开度应不大于20%，缓慢充灌预冷，预冷时间不小于30 min。

7.1.5 当液氢容器上的阀门和仪表、管道连接接头等处被冻结时，不应应用铁锤敲打或明火加热，宜用70℃~80℃洁净无油的热氮气或温水进行融化解冻。

7.1.6 使用单位应制定安全使用操作规程。操作人员独立上岗操作前，应进行安全教育培训，经考核合格后持安全操作证上岗。

7.1.7 操作人员应熟悉液氢的特性及其危害，并熟悉相关设施的使用说明书，设备工艺流程，设备上各种阀门、仪表及其作用和操作程序；在发生故障及意外事故时应能独立采取应急安全措施。液氢的主要特性参见附录B表B.1。

7.1.8 液氢容器的故障排除应按使用说明书的规定来处理。

7.2 安全防护

7.2.1 操作人员在充灌或处理液氢时应穿着符合GB21148规定的导电鞋或导电长筒靴，外穿符合GB12014规定的A级防静电工作服，佩戴符合GB/T31421规定的防静电帽，裤管应罩在鞋（靴）帮外面，带上干净易脱的长臂纯棉手套和护目镜，若有可能产生液氢喷射或飞溅的作业，应带上防护面罩（或护目镜）和长臂纯棉手套。处理大量液氢泄漏时应穿上无钉皮靴，裤脚套在皮靴外面。

7.2.2 操作人员操作前，应先导散自身静电，不应用手触摸非绝热或表面结露、结霜的液氢容器与管道表面。

7.2.3 不应进入液氢大量泄漏的场所。

7.2.4 操作人员的皮肤因接触液氢而被冻伤时，应及时将受伤部位放入40℃左右的温水中浸泡，切勿干加热，严重的冻伤应迅速到医院治疗。

图6 GB/T 40060液氢贮存和运输技术要求针对安全与防护

6 车辆运行

6.1 车辆起动

- 1) 车辆起动前应脱开所有与外部设施的机械连接。
- 2) 车辆起动前目视检验车载液氢系统管路表面，不应有损坏、异常结霜的迹象。检查车载液氢系统有无漏气现象，气瓶固定装置有无松动。
- 3) 车辆起动应严格按照制造厂商规定的程序进行检查及操作。

6.2 车辆行驶

- 1) 在行驶过程中若出现非预期的行为或故障，如动力系统驱动功率明显降低、氢气泄漏报警装置发出报警或发生故障等，车辆应能够给驾驶员发出明显的信号，驾驶人员应按照制造商或运营商的要求进行操作。
- 2) 车辆运行过程中，车载液氢系统出现结霜、异响、氢气泄漏现象时，应立即关闭主关断阀，将车辆运行至空旷场地，并及时送修。
- 3) 针对液氢车辆静态蒸发特性，通过隧道车辆，提出以下要求：经过隧道车辆需具有消氢装置，以满足隧道行驶过程无氢气排出。
- 4) 针对消氢装置进行了研究，要求静态蒸发气氢处理装置的处理能力满足1.5倍蒸发量，BOG阀开启压力应高于气瓶工作压力(1.6MPa)，为工作压力1.1倍(1.76MPa)开启；一级安全阀的开启压力为工作压力1.2倍(1.92MPa)，二级安全阀的开启压力为工作压力1.5倍(2.41 MPa)。在停车时，气瓶内气体超压时，消氢装置经济阀自动打开，超压气体进入氢气催化系统，降低气瓶压力。车辆运行时，气瓶内气体压力较高但未达到安全阀整定压力时，经济阀打开，优先使用气瓶内气体供气，可降低气瓶压力，避免安全阀起跳。
- 5) 车辆行驶过程中供气能力研究，液氢系统为提供满足燃料电池系统正常工作的温度、流量和压力的氢气，需设计升温装置和增压系统。

换热架构研究：燃料电池系统在工作中会产生较多热量，需及时进行降温，否则会影响系统正常工作，甚至缩短电池使用寿命。图7为典型的燃料电池系统换热需求。

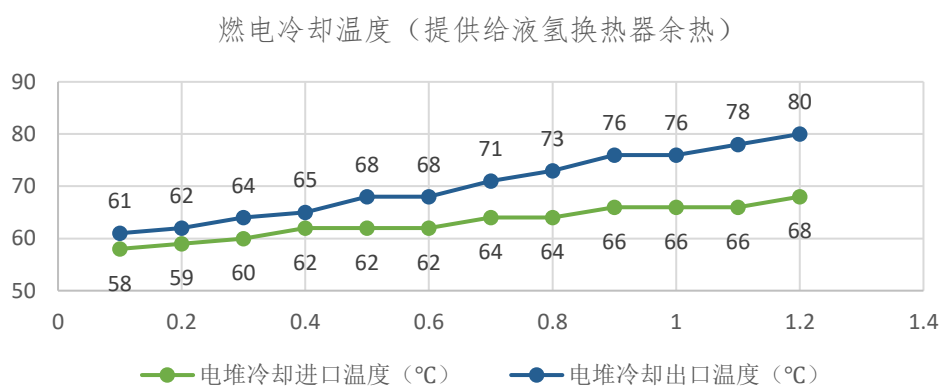
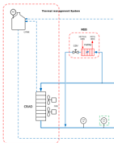
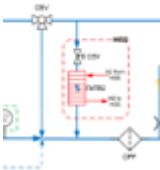
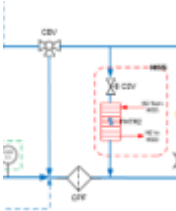
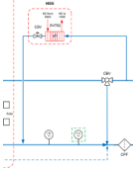


图7 典型燃料电池换热需求

利用燃料电池工作产生的热量对液氢进行升温处理，是一举两得的技术手段。
表为不同形式的换热架构，表4为不同形式换热架构优缺点分析，供行业参考。

表4 不同形式换热架构优缺点分析

方案	方案说明	优点	缺点	备注
方案1	液氢换热器进口与高温散热器并联	换热器进口水温高	小循环无流量，大循环开启才能提供流量	
方案2	液氢换热器入口接电堆出口，换热器出口在冷却过滤器入口前	①大、小循环都能提供流量。②换热器进口水温高。③换热器水路可流经CPF，洁净度有保证。	CBV开度、水泵转速前馈需重新标定	
方案3	换热器入口接电堆出口，换热器出口接水泵入口。	①大、小循环都能保证换热器有流量。换热器进口水温高。	① CBV开度、水泵转速前馈需重新标定。 ② 换热器水路不过CPF，洁净度有风险。	
方案4	液氢换热器进口与电堆并联	大、小循环都能保证换热器有流量。	①换热器进口水温低。②CBV开度、水泵转速前馈需重新标定。③电堆流阻小，换热器水路流量可能无法满足。	
方案5	换热器入口接电堆出口，换热器出口接散热器出口。	①大、小循环都能保证换热器有流量。②且可用系统的CHTR加热换热器，用CTE信号判断CHTR是否加热。	暂无	

条 件	冷却液入口温度℃	61	62	64	65	68	68	71	73	76	76	78	80
	燃电需求 液氢质量 流量g/s	0.34 1	0.53 9	0.70 4	1.02 3	1.28 7	1.51 8	1.79 3	2.04 6	2.28 8	2.51 9	2.72 8	2.93 7
真 结 果	冷却液流量g/s	5.5	8.5	11.9	15.3	18.8	22.1	26.7	30.8	35	37.5	41	45
	换热器液 氢出口温 度℃	5.5	6.3	6.6	5.8	5.7	6.0	6.5	6.1	5.9	6.2	6.6	6.6
	换热器液 氢压降Pa	80	145	209	380	525	660	800	1090	1258	1408	1660	1835
	冷却液出口温度℃	-22	-22	-25	-23	-20	-19	-20	-18	-17	-15	-15	-15
	冷却液压 降Pa	-715	-700	-690	-679	-665	-650	-632	-618	-596	-582	-573	-560
	冷却液热 损失W	1610	2520	3893	4792	5891	6729	8010	9111	1055 5	1158 6	1210 0	1375 0

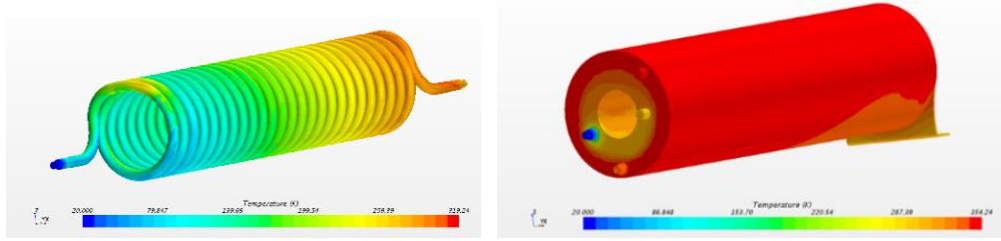


图8 典型换热器仿真热量分布图

运用仿真分析软件，仿真分析在不同的液氢燃电需求量下，前提条件为换热器液氢出口温度均 $>5.5^{\circ}\text{C}$ ，满足燃电供氢口温度 $>0^{\circ}\text{C}$ 的需求。

仿真得到在不同的液氢燃电需求量下，换热器出口冷却液温度均 $>-25^{\circ}\text{C}$ ，满足冷却液工作温度 $>-40^{\circ}\text{C}$ 的需求。

运用仿真软件，进行典型换热器换热能力分析结论如下：

1) 在不同的液氢燃电需求量下，换热器液氢出口温度均 $>5.5^{\circ}\text{C}$ ，满足燃电供氢口温度 $>0^{\circ}\text{C}$ 的需求

2) 在不同的液氢燃电需求量下，换热器出口冷却液温度均 $>-25^{\circ}\text{C}$ ，满足冷却液工作温度 $>-40^{\circ}\text{C}$ 的需求

综上所述，换热器换热量满足燃电不同液氢需求量的要求。

6.3 车辆停车

切断动力源后，车辆不应产生由自身驱动系统引起的非预期行驶。

7 车辆转运

对于车辆转运，建议转运前对车载液氢系统进行泄压操作，使得车载液氢系统转运过程几乎无静态蒸发氢气排放。

7.1 液氢瓶压力要求

车辆在转运前应在安全位置对液氢瓶进行泄压，建议液氢瓶压力应泄放 ≤ 0.1 MPa，

车载液氢系统静态蒸发数据：

当液氢系统加注完液氢后，瓶内压力小于 0.1 MPa 时，瓶内压力在第一个 24 小时后，压力升高会升高至 0.3~0.4 MPa 之间（详见下图）。瓶内增压至 1.2MPa 安全阀开启，大约需要 90 h 以上，即系统加注完成后，在车辆不使用的情况下，可停放近 4 天不排放氢气，如下图所示。

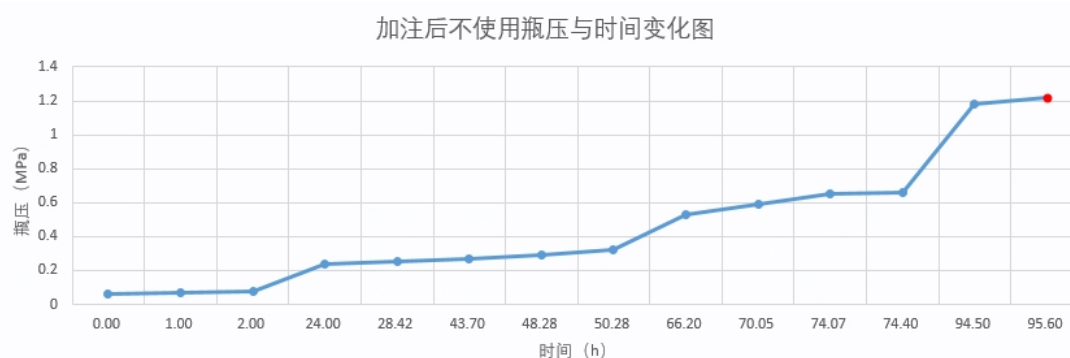


图9 加注后瓶压变化曲线

7.2 装载

车载装置过程及要求参考气氢车辆：

- 1) 车辆应在通风良好且符合相关消防要求的场所进行装载；
- 2) 装载前，应检查运输工具的状态是否良好，不应使用有损坏、缺陷、变形等异常情况的运输工具；
- 3) 装载时，应使用捆绑带、挡块或其自身结构等将车辆固定，且纵向、横向及垂直方向的拴固强度应满足相关运输方式的安全要求。
- 4) 操作人员应按照现场指挥人员的指令作业，在驶入装载空间时需控制车速，并在拴固过程中避免车辆受到损伤；

- 5) 装载后，车辆之间、车辆与集装箱内壁、船舱内壁之间保持安全距离。

7.3 转运

- 1) 若液氢系统储存有液氢，不建议采用封闭或半封闭转运，如需采用封闭或半封闭空间转运，封闭或半封闭空间应具备氢气体积浓度监测报警、通风、尾气排放及联动安全功能。当有蒸发或泄漏的氢气达到设定的氢气体积浓度报警值时，自动排风、进新风。
- 2) 车辆转运期间不允许使用液氢系统，车辆可进行纯电状态行驶，转运前需进行充电处理，电量满足转运期间里程要求。
- 3) 转运前，需对液氢系统各接口开展泄漏检查，确保氢气泄漏符合本文相关的要求，同时排查液氢系统阀箱内部是否存在异常结霜现象。
- 4) 转运过程，液氢系统不得处于工作状态，从液氢瓶引出的排空阀、出液阀等所有手动开关阀件均需关闭，保障车辆安全。
- 5) 转运过程运输工具应具备静电消除措施。

8 车辆停放与存放

8.1 日常停放

- 1) 车辆应停放通风良好的停车场。
- 2) 车辆如停放在封闭或半封闭空间，封闭或半封闭空间应具备氢气体积浓度监测报警、通风、尾气排放及联动安全功能。当有蒸发或泄漏的氢气达到设定的氢气体积浓度报警值时，自动排风、进新风。

8.2 长期存放

- 1) 对于长期存放（三个月以上）的车辆，停放前应将车载液氢系统内氢气使用完全后进行停放。
- 2) 对于长期存放（三个月以上）的车辆，停放后投入使用，车辆充装氢气前，需对车载液氢系统进行泄漏检查，检车通过后才可进行充装。

8.3 其他

- 1) 对于不确定时间的停放，按照日常停放进行处理。

9 车辆燃料加注

液氢加注是一个技术复杂、安全要求极高的过程，对基础设施、设备和技术标准都有特殊要求，福田目前使用液氢加注规程如图10所示。

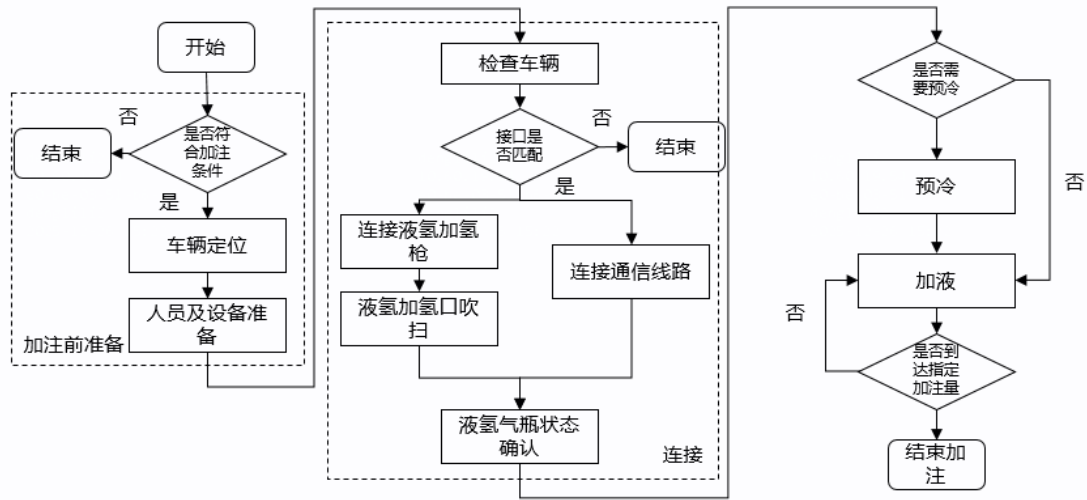


图10 液氢加注规程

9.1 加注前要求

- 1) 液氢加注应在空旷、自然通风良好的场地内进行，遇到雷暴及恶劣天气应停止作业。
- 2) 液氢质量符合GB/T 40045，液氢储罐的液量应充足，确保加注后剩余量不少于总容积的5%。
- 3) 加注人员上岗前应按要求穿戴劳动防护用品。
- 4) 车辆进场，加注人员在检查区域核对加氢车辆类型、液氢气瓶信息和相关状态等，不符合充装条件的车辆严禁加注。
- 5) 车辆在加注区域定位后，应断电并可靠刹车，加氢人员在车辆前后放置轮挡，使车辆固定，防止溜车。
- 6) 司机及车辆人员离开加注区域，车辆钥匙由指定人员按要求保管。
- 7) 液氢加注系统状态检查应符合GB/T 43674 的相关规定。
- 8) 液氢储罐增压至所需压力并维持，确认液氢加氢机上游设备预冷好，具备加注条件。
- 9) 加注前准备工作完成后进行车辆连接。



图11 典型液氢加注示例图

9.2 加注中要求

- 1) 检查车辆状态，确保车辆接地良好。
- 2) 通信加注的车辆连接车辆与液氢加氢机的通信线路，检查状态，确认液氢气瓶压力、液位等所需车辆信息传至液氢加氢机。
- 3) 确认液氢加氢枪与液氢加氢口规格匹配。



图12 典型液氢加氢枪与液氢加氢口连接示例图

- 4) 液氢加氢口目视检查和表面吹扫，连接液氢加氢枪与液氢加氢口，确认外密封档位锁紧连接可靠。
- 5) 液氢加氢口吹扫，吹扫过程使用便携式氢浓度探测仪在液氢加氢口上方检查，确认连接部位无泄漏。

9.3 加注后要求

- 1) 液氢加氢枪拔出后放置于专用枪座做停放处理。
- 2) 液氢气瓶做加注后处理，确认液氢气瓶加注通路、回气通路关闭。
- 3) 使用吹扫气吹扫液氢加氢口外表面，目视无霜后加装防护盖。

9.4 测试数据

未势液氢加注测试数据如图13所示，加注66.4kg，用时100min，充装速率0.664kg/min，和国内首个液氢示范加氢站（攀枝花），液氢加注速度达15kg/min相比，保证安全前提下，需要进一步提升加注速率。

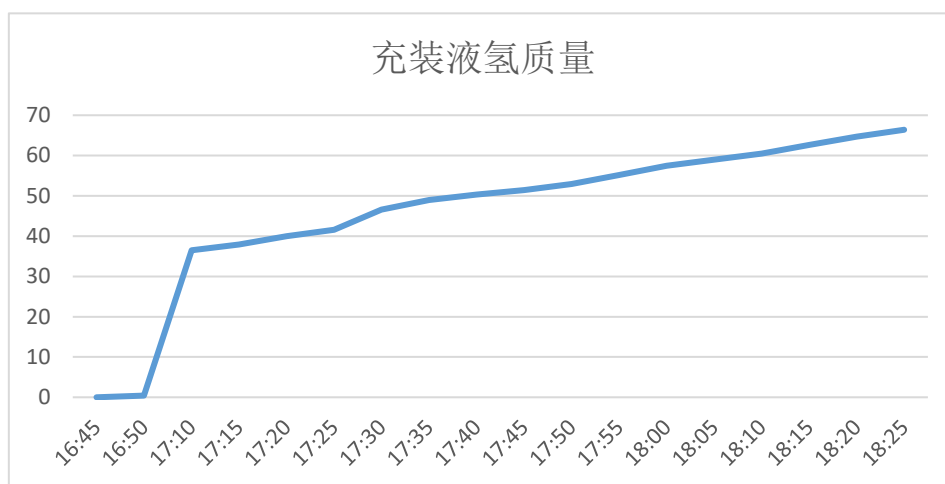


图13 未势某款液氢系统加注测试充装量

10 车辆维护

应定期对车辆进行检查和维护，检查内容和程序应符合制造商和运营商的要求。检查结果应详细记录并存档。

车载液氢系统维修不应带压作业。

维修前、后的车载液氢系统应经耐压、吹扫、气密试验、置换检验合格后投入使用。

车载液氢系统应定期进行升温作业，以清除积存的固态挥发性杂质。

11 车辆应急措施

制定应急处置预案包含液氢泄漏、冻伤、火灾等场景处置流程。

当车辆出现故障报警时，驾驶员应按照车辆的提示和用户手册等要求采取相应的安全措施。

当车辆发生液氢泄漏等紧急情况，驾驶员应立即停止车辆行驶，疏散危险区域人员，并立即通知消防部门和报告上级部门。

车辆应急措施参考GB/T 29729-2022中7.7中要求。

7.7 突发事件
7.7.1 突发事件处理
7.7.1.1 泄漏
7.7.1.1.1 应及时切断泄漏源，并对泄漏污染区进行通风，排除泄漏污染区可能存在的点火源。作业人员进入泄漏污染区时，应佩戴个人防护装置。
7.7.1.1.2 若无法切断泄漏源，应立即疏散泄漏污染区人员，保持泄漏污染区的通风，并立即通知消防部门和报告上级部门。
7.7.1.2 火灾和爆炸
7.7.1.2.1 应及时切断氢源。若不能立即切断氢源，应使氢系统保持正压状态，以防氢系统发生回火，并用消防水雾强制冷却着火设备。
7.7.1.2.2 应采取有效措施，防止火灾扩大，并用消防水雾喷射其他引燃物质和相邻设备。
7.7.1.2.3 氢系统的容器、管道等发生超压失效或火灾导致氢系统发生爆炸时，应立即疏散危险区域人员，并立即通知消防部门和报告上级部门，迅速组织救援。
7.7.1.3 液氢溢出
7.7.1.3.1 应立即关闭上游阀门以切断溢出源，撤离液氢溢出区域，并对液氢溢出区域进行通风。
7.7.1.3.2 不应将可爆雾团的扩散范围作为氢/空气混合物的扩散范围，更不应以此作为建立安全措施的依据。
7.7.2 突发事件救援
7.7.2.1 消防
7.7.2.1.1 消防人员应采用相关部门推荐的处理方法，立即采取救援措施，并建立警戒区域，及时疏散警戒区域内的非救援人员。
7.7.2.1.2 不应在警戒区域内使用无防爆设施的电气设备、无防火装置的燃油机动车等可能导致二次事故的救援设施。
7.7.2.1.3 火灾发生时，消防人员应佩戴个人防护装置进入现场，并预防外露皮肤烧伤。
7.7.2.1.4 紧急情况下，受过意外事故处理培训的现场人员，可协助消防人员进行救援工作。
7.7.2.2 紧急医疗救护
7.7.2.2.1 应及时对烧伤或在爆炸中受伤的人员进行紧急医疗处理，情况严重者应立即送医院治疗。
7.7.2.2.2 因接触低温氢气、液氢或浆氢而冻伤的部位不应暴露于温度过高的环境中，对冻伤部位简单包扎后，应由医护人员或在医护人员指导下进行医疗处理。
7.7.2.3 进入受限区域时的保护
7.7.2.3.1 救援人员进入受限区域前应佩戴齐全个人防护装置，并用已校准的直读仪器检测受限区域内的氧含量、氢含量和有毒物质含量。
7.7.2.3.2 应提供救生索等撤离设施供救援人员使用，救援人员应按规定的操作程序操作。

图14 GB/T 29729-2022 7.7突发事件

12 车辆手册要求

手册要求参照GB/T 24549-2020的相关内容。

5.2 服务手册

燃料电池电动汽车制造厂商应编制与汽车维修、保养相关的信息。宜至少包括以下内容：

- a) 用户汽车维修场所的说明；
- b) 汽车使用危险材料的化学和物理特性；
- c) 在维修期间，汽车或系统可能出现的危险；
- d) 汽车发生某种危险时特有的急救程序；
- e) 维护工具、装备和个人保护装备；
- f) 特殊维护工作的方法和程序；
- g) 必要的维护项目、维护周期列表；
- h) 从燃料电池电动汽车中置换燃料的程序；
- i) 专业操作人员更换部件或释放燃料的注意事项。

图15 GB/T 24549-2020 5.2服务手册