



氢燃料电池汽车安全指南

(2019版)

指导编制：
工业和信息化部
国家能源局

组织编制：
中国汽车工业协会
中国汽车动力电池产业创新联盟燃料电池分会

编委会

组长：许艳华（中国汽车工业协会）

副组长：林琦（中国汽车动力电池产业创新联盟燃料电池分会）

魏学哲（同济大学）

（1）各章节负责人：

戴海峰（同济大学）

蒋永伟（上汽大通汽车有限公司）

张龙海（郑州宇通客车股份有限公司）

魏 蔚（张家港氢云新能源研究院有限公司）

柯小军（上海重塑科技有限公司）

贾 佳（广东国鸿氢能科技有限公司）

周晓俊（氢车熟路汽车运营有限公司）

（2）主要参编单位：

高校

同济大学

整车企业

上汽大通汽车有限公司

郑州宇通客车股份有限公司

燃料电池系统

上海重塑能源科技有限公司

广东国鸿氢能科技有限公司

云浮（佛山）氢能标准化创新研发中心

车载储氢及供氢企业

江苏国富氢能技术装备有限公司

张家港氢云新能源研究院有限公司

车辆运营企业

氢车熟路汽车运营（上海）有限公司

(3) 主要参编人员:

高雷、燕希强、王铎霖、卜庆元、赵吉诗、陈文凤、麦家铭、马天才、周伟、杨代军、刘冬安、张懿、王学圣、严岩、王美燕、朱龄、朱紫嫣

序

全国政协副主席、中国科协主席 万钢

世界汽车产业同样面临百年未遇之大变局，正在进入重大转型期。从市场角度看，汽车市场正在由少数发达国家为主，向以中国为首的发展中国家普及，市场规模将快速增长；从外部条件看，世界范围内的气候变化、环境污染和能源短缺正在成为制约汽车产业发展的重大因素；从内生动力看，新一轮科技革命，特别是电驱动相关技术、人工智能技术和互联网技术的迅猛发展正在为汽车产业的转型升级提供强大的技术支撑。在这场世界汽车产业的重大变革中，电动化、智能化、共享化成为最重要的发展方向。

习近平主席在2014年5月视察上汽集团时指出，新能源汽车技术研发能不能占领制高点，已经成为当今世界汽车产业的竞争焦点。汽车行业是市场很大，技术含量和管理精细化程度很高的行业，发展新能源汽车是我国从汽车大国迈向汽车强国的必由之路。要加大研发力度，认真研究市场，用活用好政策，开发适应各种需求的产品，使之成为一个强劲的增长点。习主席的重要指示，为我国新能源汽车发展绘制了蓝图，指明了方向。

在政府的积极作为、科技的支撑引领、巨大的市场规模、创新的商业模式共同作用下，我国新能源汽车产业取得显著的技术进步和快速的市场发展。目前正处于由导入期向成长期过渡的关键阶段，在全球产业体系中占据举足轻重的地位，引领和加速了全球汽车电动化、智能化、共享化的进程。

在当前市场成长的关键阶段，必须把安全作为新能源汽车最关键的指标，把提高新能源汽车安全性放在最重要的位置。新能源汽车的安全性，不仅是科学研究和产品设计问题，还与制造工艺、质量管控、零部件生产供应、产品使用、充电和维修保养等全产业链和全生命周期密切相关。因此，如何调动各方面的积极性，集聚全行业专家的智慧和经验，指导全行业全面提高新能源汽车的安全性，已成为当前最迫切的问题。

面对这个行业关键点，中国汽车工业协会、中国汽车动力电池产业创新联盟和中国电动汽车充电基础设施促进联盟全行业专家，编制了这本《新能源汽车安

全指南》，非常及时，非常重要。我相信，这本指南将对提高我国新能源汽车安全性，促进我国新能源汽车健康发展起到重要作用。希望产业界用好这本指南，并不断从实践中积累经验，充实完善各章节内容，群策群力，共同提高我国新能源汽车的质量和水平。希望中国汽车工业协会等组织编制单位，继续做好本项工作，不断汇总行业技术进步经验，逐年更新和修订这本指南，集众智、汇群力，为全行业提高质量发展贡献力量。

编制说明

在《国家创新驱动发展战略纲要》、《能源技术革命创新行动计划(2016年~2030年)》、《汽车产业中长期发展规划》等国家级规划中,都明确了氢能与燃料电池产业的战略性地位。工信部、科技部及各地方政府纷纷将发展氢能和氢燃料电池技术列为重点任务,将氢燃料电池汽车列为重点支持领域。在上述政策的推动下,中国燃料电池汽车得到了快速发展,2018年燃料电池汽车产销1527辆,2019年上半年产销分别为1170辆和1102辆。

在燃料电池汽车产业蓬勃发展的前景下,我们也看到了存在的问题。燃料电池汽车总体发展质量和水平还有待提高,而安全性是其关键指标之一。目前,产业总体上对燃料电池汽车安全性认识不足,燃料电池汽车设计及应用中的安全性要求积累不够。另一方面,燃料电池汽车安全性问题非常复杂,与燃料电池电堆及系统、氢系统、整车匹配设计、产品试验验证、运维管理等多种因素有关。

有鉴于此,我们认为有必要编制《氢燃料电池汽车安全指南(2019)》(以下简称“本《指南》”),系统地梳理燃料电池汽车、关键部件及系统的设计、使用等各个环节的安全风险及其防范措施,提高燃料电池汽车全生命周期安全性水平。

一、 指南的定位

本《指南》由中国汽车工业协会会同中国汽车动力电池产业创新联盟,组织包括燃料电池汽车整车、燃料电池电堆、燃料电池系统、氢系统、运营维护等行业企业研究编制。

本《指南》聚焦燃料电池汽车设计及应用中的安全问题,系统地梳理了燃料电池汽车的安全风险,参考现有国际国内标准,汇集一线专家的经验编制而成。因此,本《指南》重在汇集行业经验、梳理技术现状,从而给从事燃料电池汽车开发和生产企业从业人员,以及服务保障人员和广大消费者提供设计及应用上的指导和参考。同时,也希望本《指南》能为燃料电池汽车行业相关标准的制定和修订提供依据,为开展安全性研究项目提供方向。

本《指南》根据行业发展,将每1年或2年更新一次,以体现及时性。如果您对本《指南》有任何建议或意见,直接联系 support@h2-fc.com。

二、 指南的总体编写思路

中国汽车工业协会、中国汽车动力电池产业创新联盟及中国电动汽车充电基础设施促进联盟于 2019 年 1 月发布了《电动汽车安全指南（2018 版）》。《氢燃料电池汽车安全指南（2019）》总体参考《电动汽车安全指南》的框架进行编制。

本《指南》的总体结构是从时间和空间两个维度展开的。时间尺度上，本《指南》重点关注燃料电池汽车及关键零部件或子系统从设计到应用不同环节上的安全问题；空间尺度上，本《指南》从整车通用安全开始，分解讨论车载氢系统、燃料电池系统及燃料电池堆的安全问题。

本《指南》编制中，侧重燃料电池汽车与其他类型电动汽车在安全方面的不同之处，《电动汽车安全指南》中已有的共性内容则在本指南中尽量不再重复，而是直接引用。

为了突出重点，本《指南》主要讨论了燃料电池汽车整车及关键部件或子系统在设计与应用方面的安全问题。燃料电池电堆等的制造过程相关内容在这一版的指南中被简化，但将在后续更新版本中，根据行业发展情况不断完善更新。

考虑目前车载氢系统及加氢设施的技术现状，本《指南》仅介绍了高压储、供氢方面的安全问题，而未涉及到液氢与深冷高压储供氢相关内容，这也将在今后的发展中持续更新。

三、 指南主要编制内容

本《指南》主要分为四个专题：

专题一：燃料电池汽车整车通用安全

专题二：车载氢系统安全

专题三：燃料电池堆及系统安全

专题四：燃料电池汽车操作、维护及基础设施安全

上述四个主题中，专题一在整车层面讨论设计及应用中的安全问题，专题二、三则是在关键零部件或子系统层面讨论设计及应用中的安全问题，专题四针对整车应用过程中的安全问题展开讨论。

四、 指南的编制与发布

本《指南》由工业和信息化部装备工业司、国家能源局电力司、科技部高新技术司、国家发改委产业协调司、财政部经济建设司指导编制。

本《指南》由国内主要燃料电池汽车整车、燃料电池堆及系统、燃料电池车

载氢系统、加氢设施及燃料电池汽车运营等企业及行业组织、科研院校、机构共同研究编制，在编制过程中广泛征求了国内外业界专家和企业、机构的意见，谨向本《指南》评审的专家明平文、何云堂、缪文泉、王仁广、兰昊、宋光吉、范冠华、张志洋等专家学者表示真诚的敬意和衷心的感谢！

本《指南》中英文两个版本同时公开发布。

2019年，《电动汽车安全指南》进行了更新，在更新中，《氢燃料电池汽车安全指南（2019）》将作为一部分汇总到《电动汽车安全指南》中。同时，《氢燃料电池汽车安全指南（2019）》也将单独发布。

本《指南》的解释权在《指南》编委会编写组。

目录

1 整车通用安全.....	1
1.1 一般设计准则.....	1
1.2 失效评估及失效安全设计.....	1
1.2.1 失效安全设计一般原则.....	1
1.2.2 危害的隔离和分离.....	1
1.2.3 失效安全设计.....	2
1.3 整车 EMC 及电气可靠性安全.....	5
1.3.1 整车车外辐射骚扰及抗扰度要求.....	5
1.3.2 车载电器设备辐射骚扰及抗扰度要求.....	5
1.3.3 整车充电过程中沿电源线骚扰和抗扰度要求.....	6
1.3.4 整车乘员暴露于车辆电磁环境安全要求.....	6
1.3.5 高低压线束设计布置要求.....	6
1.3.6 整车电气可靠性要求.....	6
1.4 整车碰撞安全.....	7
1.4.1 侧面碰撞防护设计.....	7
1.4.2 侧翻防护设计.....	7
1.4.3 后碰撞防护设计.....	7
1.4.4 底部碰撞防护设计.....	7
1.5 安全标记要求.....	7
1.5.1 高压警告标记要求.....	7
1.5.2 B 级电压电线标记要求.....	8
1.5.3 危险物质标识.....	8
2 车载氢系统安全.....	9

2.1 安装及布置	9
2.1.1 车载氢系统安装及布置一般准则	9
2.1.2 乘用车载车储氢瓶安装及布置案例	10
2.1.3 商用客车车载储氢瓶安装及布置案例	11
2.1.4 商用货车车载储氢瓶安装及布置案例	11
2.2 安全设计及管理	11
2.2.1 氢系统安全设计一般原则	11
2.2.2 高压储氢瓶	12
2.2.3 高压系统阀门	14
2.2.4 控制仪表类（压力表，各类传感器与控制器，液位计等）	15
2.2.5 储氢瓶的固定结构	16
2.3 氢气加注	16
2.3.1 高压氢气加注工艺	16
2.3.2 加注安全与智能化监控	17
2.4 氢气安全释放	19
2.4.1 高压氢气释放	19
3 燃料电池堆及系统安全	21
3.1 燃料电池堆安全	21
3.1.1 燃料电池堆设计	21
3.1.2 燃料电池堆制造环境要求	23
3.1.3 燃料电池堆测试	24
3.1.4 燃料电池堆安全评价	25
3.1.5 燃料电池堆储运安全	26
3.2 燃料电池系统安全要求	26

3.2.1 通用安全性.....	26
3.2.2 部件安装及防护.....	31
3.2.3 燃料电池系统安全测试.....	32
3.2.4 燃料电池系统电气安全性.....	34
3.2.5 燃料电池系统安全监控要求.....	36
3.2.6 冲击、振动与碰撞.....	36
3.2.7 电磁兼容.....	37
4 燃料电池汽车操作、维护及基础设施.....	38
4.1 用户指南及手册.....	38
4.1.1 燃料电池车辆存放.....	38
4.1.2 燃料电池汽车运营中的日常安全检查.....	38
4.1.3 燃料电池车辆加氢安全注意事项.....	38
4.1.4 燃料电池车辆操作中的其他一般注意事项.....	39
4.2 燃料电池车辆紧急情况处理.....	39
4.2.1 氢气意外泄漏处理.....	39
4.2.2 车辆意外燃烧处理.....	40
4.3 燃料电池车辆的检修与维护.....	41
4.3.1 燃料电池车辆检修注意事项.....	41
4.3.2 燃料电池车辆维护安全事项.....	41
4.4 氢气加注设施的运行与管理.....	42
4.4.1 加氢设施运行操作与维护.....	42
4.4.2 加氢站质量管理体系.....	43
4.4.3 计量收费系统.....	44
4.4.4 项目建设.....	44

4.4.5 氢气系统的监控.....	48
主要参考文献.....	50

1 整车通用安全

1.1 一般设计准则

相对于纯电动车辆而言，氢燃料电池电动汽车的安全问题增加了氢安全相关内容。鉴于氢易燃易爆的特性及整车的电耦合使用环境，氢安全将直接影响到整车的安全性，且比纯电动汽车的安全性更为复杂。燃料电池电动汽车整车氢安全设计的一般原则如下：

（1）失效安全原则。在进行氢系统设计时，必须保证即使在某一零部件失效时，也不会因之导致更加严重的后果。换言之，当系统单一零部件出现故障时，系统是安全的。

（2）最简化原则。在进行氢系统设计时，在满足安全需求和使用需求的前提下，系统应尽可能简化，避免冗余。

（3）区域布置原则。在进行氢系统安装时，应将系统零部件尽可能集中布置，并根据压力等级进行分区域布置。

（4）氢电隔离原则。在进行氢系统安装时，应将氢系统与电气系统进行有效隔离。隔离措施可以是系统的物理隔离，也可以是针对可能产生火花的零部件自身的隔离，例如采用防爆电器。

1.2 失效评估及失效安全设计

1.2.1 失效安全设计一般原则

整车通用安全的核心在于保护人员免受危险因素的影响。针对燃料电池电动汽车的潜在失效进行对应的安全设计，燃料电池电动汽车的潜在失效后果主要包括：

（1）车辆运行过程系统零件故障和/或由外部事件（如碰撞）导致车辆系统损坏；

（2）车辆运行、维修过程中出现由操作失误引发的危险（例如高电压、极端温度、高气压，以及易燃或有毒流体）；

（3）由子系统或部件故障引起的车辆系统损坏，无法正常使用。

1.2.2 危害的隔离和分离

燃料电池电动汽车重点考虑氢的有效隔离，常用的设计方案是将可能产生电弧或火花等火源形式的点与氢系统进行隔离，或将可能产生静电、电弧及火花的地方可靠接地。

设计层面，氢系统应优先选择利于通风释放的部位进行布置，若无法满足需增加必要的通风设计以避免氢气聚集引发危险；同时氢系统与电气系统尤其是高压电气系统需保持一定

的安全距离（如对商用车，安全距离重点关注线束接插件距离氢气管接头的距离，一般大于100mm以上；如果接头有防护，则距离可适当减小），避免电火花的能量引燃氢气；车辆故障或碰撞事故时，氢系统可基于温度、压力、流量等物理量实现快速断氢。

使用层面，车辆加氢过程禁止上高压，可仅唤醒必要的控制器（实现加氢功能以及加氢过程的监测功能），减少电气系统与氢系统之间的耦合风险。

1.2.3 失效安全设计

危害分析和风险评估的目的是识别相关项中因故障而引起的危害，并对危害进行归类，制定防止危害事件发生或减轻危害程度的安全目标，以避免不合理的风险。基于设计 FMEA 与过程 FMEA，失效安全从功能安全、系统安全、硬件安全和软件安全等四个方面开展设计工作。

1.2.3.1 功能安全设计

基于 GB/T34590.2-2017 相关规定，根据 ASIL 等级的安全目标进行功能安全审核和评估工作。燃料电池电动汽车的功能安全设计要求参考 GB/T24549-2009 的相关内容。针对车辆的不同故障等级，制定不同的故障处理机制，表 1-1 给出了某车型设计中的故障分级及处理机制示例。

表 1-1 燃料电池电动汽车故障分级及处理机制

故障级别	三级故障	二级故障	一级故障
说明	严重故障	较严重故障	警告故障
处理机制	车辆下高压	车辆限制扭矩输出	仪表提示

1.2.3.2 系统安全设计

基于 GB/T34590.4-2017 相关规定，根据功能安全概念和系统架构设想定义技术安全要求，明确软硬件的外部接口、限制条件和系统配置要求等；同时定义系统对于影响实现安全目标的激励的响应，包括失效和相关的激励组合，并与每个相关运行模式及规定的系统状态进行组合。系统架构设计过程中，为保证系统安全，应重点关注以下要素：

- （1）应消除已识别出的引起系统性失效的内/外部原因，或减轻它们的影响；
- （2）为减少系统性失效，宜应用值得信赖的汽车系统设计原则，包括技术安全概念的再利用、要素设计的再利用、探测和控制失效机制的再利用、标准化接口的再利用。

1.2.3.3 硬件安全设计

从硬件安全要求定义、硬件设计及实现、硬件架构评估及失效分析、硬件系统集成及测

试等四个方面进行硬件安全设计工作，参考 GB/T34590.5-2017。

硬件安全要求定义：基于技术安全概念和系统设计规范，定义硬件安全要求，同时细化控制安全设计涉及的软硬件接口（HSI）规范。硬件安全要求设计应包含以下内容：

- （1）具备覆盖相关的瞬态故障（例如所用技术而产生的瞬态故障）的内部安全机制；
- （2）具备应对外部失效的容错功能；
- （3）具备探测硬件零部件失效、故障诊断和发送失效信息等功能。

硬件设计及实现：基于硬件架构度量的评估，充分考虑功能冗余及功能要求，优先采用车规级成熟电路单元，元器件选用车规级元器件；同时考虑与安全相关的元器件失效的非功能性原因，包括温度、振动、湿度、灰尘、电磁干扰、噪声、环境串扰等因素。具体设计要求如下：

（1）符合 QC/T413-2002 汽车电气设备基本技术条件所规定的电气性能要求；根据 GB/T28046.2-2011 的要求满足工作电压、电源过电压性能、电源叠加交流电性能、电源电压跌落性能、电源启动特性、电源极性反接、抛负载性能、供电电压缓升和缓降性能、供电电压瞬时下降性能等要求；高压防护安全参考《电动汽车安全指南》中第一章及第二章相关设计要求。

（2）满足车辆运行环境的需求，针对布置在底盘等湿区位置的产品防护等级不应低于 IP67；根据 GB/T28046.3-2011 的要求满足低温性能、高温性能、温度冲击性能、温湿性能、盐雾性能、防护性能、自由跌落性能等产品性能要求；同时考虑防火隔离和阻燃设计，燃料电池系统与客舱之间使用阻燃隔热材料隔离，阻燃隔热材料的燃烧性能符合 GB 8624-2012 中规定的 A 级要求。燃料电池系统内零部件材料均需考虑阻燃要求，满足以下阻燃要求：金属材料零部件材质满足水平燃烧 HB 级和垂直燃烧 V-0 级的要求，其它非金属零部件材质满足水平燃烧 HB75 级和垂直燃烧 V-2 级的要求。

硬件失效模式分析：通过对硬件失效模式分析，识别硬件设计中因潜在风险导致的产品失效，建立 FMEA 表，以保证分析的完整性。对于侵害安全的失效模式，应制定相应的安全机制来保证安全性；对于非侵害安全的失效模式，需评估设定安全机制的必要性。硬件失效分析应识别以下内容，并给出相应的措施：

（1）对安全故障，制定相应的安全机制，主要包括与硬件自身故障相关的探测、指示和控制措施；影响到系统硬件的外部设备发生故障的探测、指示和控制措施；系统实现或维持在安全状态下措施；细化和执行报警和降级概念的措施；以及防止故障潜伏的措施。

(2) 对单点故障或残余故障，评估设定安全机制的必要性，主要评估系统实现或维持在安全状态下措施的有效性，同时评估残余故障的诊断覆盖率。

(3) 对多点故障(无论是可感知的、可探测的或潜伏的)，评估设定安全机制的必要性，主要评估可接受的多点故障探测事件间隔内潜伏故障的失效探测及警示驾驶员措施的有效性，同时评估潜伏故障的诊断覆盖率。

硬件系统测试：为了验证硬件设计与硬件安全要求的正确性、一致性和完整性，硬件系统测试应考虑按以下方法进行。测试内容以硬件设计的具体要求为主：

(1) 功能性测试。针对被测硬件电气性能、高压防护性能等进行测试。

(2) 非功能性测试。针对硬件的环境适应性、防水阻燃性能、耐久可靠性等进行测试。

1.2.3.4 软件安全设计

基于 GB/T34590.6-2017 相关规定，进行软件安全要求的定义、软件架构设计、软件单元设计及实现、软件单元测试、软件集成及测试、软件安全要求验证，并满足系统设计和软件安全需求的要求。

软件安全要求的定义：软件安全要求的定义来源于技术安全要求和系统设计规范，同步考虑硬件约束（硬件的接口规范、设计规范及运行模式等）对软件的影响。软件安全要求应针对每个基于软件的功能，这些功能的失效可能导致违背分配到软件的技术安全要求。软件安全定义需满足完整性、可测试性及可追溯性要求。

软件架构设计：软件架构设计描述全部软件组件及其在层次结构中的交互。静态方面，如所有软件组件间的接口和数据路径；动态方面，如进程顺序和时序行为。软件架构设计提供了实施软件安全要求和管理软件开发复杂性的方法。软件架构设计应考虑软件架构设计的可验证性、可配置软件的适用性、软件单元设计及实现的可行性、软件集成测试中软件架构的可测性及软件架构的可维护性。为避免因高度复杂性导致的失效，软件架构设计需具有模块化、封装性和简单性属性。具体方法包括优化软件组件的层次、限制软件组件的规模、限制接口规模、组件内高内聚、组件间低耦合、恰当调度的特性以及限制中断的使用等。

软件单元设计及实现：基于软件架构设计开发软件单元的详细设计。详细设计分别按照建模或编码指南，以模型或直接以源代码的形式实现。在进入软件单元测试阶段前对详细设计和实现进行静态验证。软件单元的实现包含源代码的生成和转换为目标代码。具体方法包括：(1) 子程序和函数采用一个入口和一个出口；(2) 无动态对象或动态变量，否则需要在其产生过程中对齐进行在线测试；(3) 变量初始化；(4) 不能重复使用变量名称；(5) 避免

全局变量，否则需证明对全局变量的使用是合理的；（5）限制使用指针；（6）无隐式类型转换；（7）无隐藏数据流或控制流；（8）没有无条件跳转；（9）无递归。

软件单元测试：软件单元测试目的是要证明软件单元满足软件单元设计规范且不包含非期望的功能。根据软件单元设计规范，建立软件单元测试流程，并按照该流程执行测试。在软件单元测试过程中，证明软件单元达到：（1）符合软件单元的设计规范；（2）符合软硬件接口的定义；（3）已定义功能；（4）确信没有非预期的功能；（5）鲁棒性；（6）足够的资源来支持它们的功能。为了评估测试用例的完整性并证明没有非预期的功能，应确定软件单元层面的要求覆盖率，同时对结构覆盖率进行测定，如果认为已实现的结构覆盖率不充分，应定义额外的测试用例或提供接受理由。

软件集成及测试：按照软件架构设计，对软件要素之间特有的集成层次和接口进行测试，软件要素的集成和测试的步骤直接对应着软件的分层架构。软件集成应完成各个软件单元分层集成到软件组件，直到整个嵌入式软件全部被集成，并考虑与软件集成相关的功能依存关系和软件集成和软硬件集成之间的依存关系。软件集成测试方法与软件单元测试类似，目的是为证明软件组件和嵌入式软件均实现相应的功能要求。

软件安全要求验证：软件安全要求验证的目的是证明嵌入式软件在目标环境下满足软件安全要求。软件安全要求验证中的测试环境可为硬件在环，电控单元网络环境及整车环境。可考虑使用工具(例如 trace ability matrix)确保和评估软件安全要求的覆盖率，可以复用已有的测试用例。如果覆盖率不充分，应增加测试用例或给出可以接受的理由。

1.3 整车 EMC 及电气可靠性安全

燃料电池电动汽车上的所有可能影响车辆安全运行的电气组件，在功能上都应该能够承受车辆暴露于其中的电磁环境。车载储能系统、驱动系统和控制系统运行在高电压、大电流以及处在较大的 dU/dt 或 dI/dt 条件下，车辆应可正常运行，不应造成误停车。车辆在满足传统内燃机汽车 EMC 要求的同时，还应符合车辆不同运行状态下的 EMC 特殊要求。

1.3.1 整车车外辐射骚扰及抗扰度要求

整车对外部的电磁骚扰应满足 GB14023-2011、GB/T18387-2017 相关要求，以保护车辆外部的无线电通讯设备正常工作；

整车耐受外部的电磁辐射干扰应满足 GB/T34660-2017 相关要求，以保障车辆的功能状态和安全等级。

1.3.2 车载电器设备辐射骚扰及抗扰度要求

车载电器设备辐射骚扰及抗扰度应满足表 1-2 的要求。

表 1-2 辐射骚扰及抗扰度测试要求

测试项目		国标要求
发射	辐射发射	GB/T 18655-2018
	传导发射	GB/T 18655-2018
	瞬态传导发射	GB/T 21437.2-2008
抗扰度	电波暗室法	GB/T 33014.2-2016
	大电流注入	GB/T 33014.4-2016
	瞬态传导抗扰度(电源线)	GB/T 21437.2-2008
	瞬态传导抗扰度(信号线)	GB/T 21437.3-2012
	静电放电	GB/T 19951-2005

1.3.3 整车充电过程中沿电源线骚扰和抗扰度要求

车辆处于电源线传导充电工况模式，沿电源线骚扰和抗扰度建议参照 UN R10《关于批准车辆电磁兼容性的统一规定》（第 5 版）的试验方法进行验证，需满足相关要求。

1.3.4 整车乘员暴露于车辆电磁环境安全要求

整车乘员暴露于车辆电磁环境应满足 GB/T 37130-2018 中的相关要求。

1.3.5 高低压线束设计布置要求

高压线束应具备 EMC 屏蔽措施，其走向布置不应使 EMC 辐射增强。高压线束屏蔽层应与高压部件可导电外壳有效连接。

1.3.6 整车电气可靠性要求

燃料电池电动汽车整车需完成电气可靠性测试并达到要求，具体测试项目及参考标准如表 1-3 所示。

表 1-3 电磁兼容性测试项目及参考标准

测试项目	标准要求
过电压	GB/T 28046.2-2011
叠加交流电	
供电电压缓升和缓降	
供电电压瞬时下降	
电压骤降复位性能	
启动特性	
抛负载	
反向电压	

1.4 整车碰撞安全

碰撞传感器检测到整车发生碰撞时，应能够自动切断电源和氢气供应，以确保碰撞后车载供氢系统的完整性、电气系统完整性等。具体要求如下：

（1）车载供氢系统完整性

高压氢气瓶的固定装置不应出现断裂、脱落或导致高压储氢系统安全功能失效的移位或变形；高压管路系统不应破损、断裂，瓶口阀不应损坏失效；在发生碰撞后的 60 min 之内，车载供氢系统的平均氢气泄漏率不得超过 118 NLPM；封闭空间内的氢气浓度不应超过 4%。

（2）电气系统完整性

根据 GB11551-2014 和 GB20071-2006 适用范围的规定，对带有 B 级电压电路的燃料电池电动汽车进行碰撞试验后，高压安全应符合 GB/T 31498-2015 的相关要求。

1.4.1 侧面碰撞防护设计

侧面防护结构可参考 GB 20071-2006 等标准进行碰撞试验，车辆在碰撞试验后应符合 GB/T 31498-2015 中 4.2~4.4 的要求。

1.4.2 侧翻防护设计

车身防护结构若按 GB 17578-2013 进行上部结构强度验证试验，应在其可充电储能系统荷电量（SOC）30%~50%且处于上电状态下进行试验，试验后应符合 GB/T 31498-2015 中 4.2~4.4 的要求。

1.4.3 后碰撞防护设计

后高压舱 B 级电压部件的布置位置和防护结构应考虑被追尾后，符合 GB/T 31498-2015 中 4.2~4.4 的要求，对燃料电池乘用车，后碰撞测试方法可参考 GB/T 20072-2006。

1.4.4 底部碰撞防护设计

底部碰撞防护设计要考虑两方面，一是离地间隙，二是防护结构。防护设计应能满足发生底部碰撞后符合 GB/T 31498-2015 中 4.2~4.4 的要求。

1.5 安全标记要求

1.5.1 高压警告标记要求

B 级电压部件，如 REESS（车载可充电储能系统）和燃料电池堆，按照 GB 2893-2008、GB 2894-2008 和 GB/T 5465.2-2008 的规定，应标记图 1-1 所示符号。符号的底色为黄色，

边框和箭头为黑色。

当移开遮拦或外壳可以露出 B 级电压带电部分时，遮拦和外壳上也应有同样的符号清晰可见。当评估是否需要此符号时，应当考虑遮拦/外壳可进入和可移开的情况；标记附近建议有明显可见的安全操作注意项目的提醒，如“电机控制器开盖要等 xx 分钟后，测量母线电压值为安全电压后方可操作”。



图 1-1 高压警告标记

1.5.2 B 级电压电线标记要求

B 级电压电路中电缆和线束的外皮应用橙色加以区别，外壳里面或遮拦后面的建议也用橙色加以区别。

B 级电压连接器可通过与之连接的线束来区分。

1.5.3 危险物质标识

车辆易见位置张贴表示氢燃料类型的图形标识，压缩氢气的标识代号为 CHG、液态氢的标识代号为 LH₂，图形标识见下图，标识尺寸及字体按 GB/T 17676-1999 的规定。标志应清晰、醒目、防水、防腐，标志应贴在车辆醒目位置。

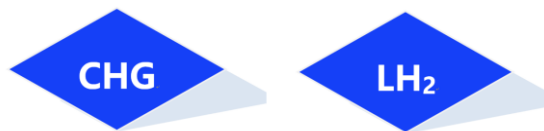


图 1-2 氢燃料标识

2 车载氢系统安全

2.1 安装及布置

2.1.1 车载氢系统安装及布置一般准则

(1) 车用氢系统的安装需依据 GB/T 24549-2009《燃料电池电动汽车 安全要求》、GB/T 26990-2011《燃料电池电动汽车 车载氢系统技术条件》与 GB/T 29126-2012《燃料电池电动汽车 车载氢系统试验方法》的规定，确保车载氢系统安装后，在正常使用条件下，应能安全、可靠地运行。此外，车载氢系统中的储氢瓶与固定装置间应有防护垫，防止固定装置磨损瓶体，并严禁损伤氢瓶的缠绕层。

(2) 车载氢系统（从氢气加注口至燃料电池进口，主要包括储氢瓶、管路、连接件、阀门与支架等）需型式试验，分别在车辆坐标系 X、Y、Z 三个方向施加 8 倍于充满标称工作压力氢气的储氢瓶重力的力，测量检查储氢瓶与固定座的相对位移，其值应小于 13mm。此外，严禁储氢瓶瓶嘴及附带的阀门或易熔合金塞经受长期应力。在储氢瓶运输、安装、拆装过程中，尽量不采取直接吊装瓶嘴、阀门或易熔合金塞的方式进行。

(3) 储氢瓶及附件的安装位置，应距车辆的边缘至少有 100mm 的距离，否则，应增加保护措施。

(4) 氢系统管路、接头安装位置及走向要避开热源、电器、蓄电池等可能产生电弧或火花的地方，尤其管路接头不能位于密闭的空间内，应安装在能看得见或操作者易于操作的位置。高压管路及部件可能产生静电的地方要可靠接地，并采取其他控制氢泄漏量及浓度的措施，确保即使产生静电也不会发生安全问题。

(5) 储氢瓶和管路一般不应装在乘客舱、行李舱或其他通风不良的地方，但如果不可避免要安装在行李舱或其他通风不良的地方时，应设计通风管路或其他措施，将可能泄漏的氢气及时排出。管路接头不得通过和安装在载人车厢内，不得安装在高热源、易磨损或易受冲击的位置。

(6) 支撑和固定管路的金属零件不应直接与管路接触，需要加装非金属衬垫，但管路与支撑和固定件直接焊合或使用焊料连接的情况例外。

(7) 加氢口不应位于乘客舱、行李舱或其他通风不良的地方；加氢口应具有能够防止尘土、液体和污染物等进入的防尘盖，防尘盖旁应注明加氢口的最大加注压力；加氢口应设置在客车侧面；加氢口应能够承受来自任意方向的 670N 的载荷，不应影响到氢系统气密性。

(8) 在可能发生泄漏的部位及载人车厢内，都应合理地安装氢气泄漏探测器，探测器

应安装在氢气最易发生积聚的位置，一般为局部最高点，通风不好的地方。

(9) 当储氢瓶布置在车架下方时，储氢瓶下方应采取有效防护措施，应有效避免驱动轮造成的异物飞溅撞击储氢容器，且储氢瓶及其附件不允许布置在客车前轴之前。

(10) 当储氢瓶安装在车辆的外露空间时，应采取有效的防护措施。

(11) 储氢瓶周围应避免有尖锐、棱角等结构的零件。

(12) 储氢瓶底置设计时，储氢瓶舱体的两侧舱门上应有格栅，保证正常通风。

(13) 储氢瓶底置设计时，储氢瓶舱体与乘客舱应保证有效的隔离，防止泄漏的氢气进入乘客舱。

(14) 储氢瓶底置设计时，与氢系统无关的电气线路和气体管路接头应尽量避免靠近储氢瓶舱室。

(15) 燃料电池汽车上的储氢装置在使用或存放时应安装牢固，具有缓冲保护措施，以防止其使用时发生移动或损坏。横向移动幅度不应引起危险。任何完整的高压氢气储存容器应包括一个连接固定装置，应采取必要措施，避免热源及电器、蓄电池等可能产生电弧的部件对氢气供应系统的影响。

2.1.2 乘用车载车储氢瓶安装及布置案例

乘用车车载储氢瓶配置应综合考量足够的乘客空间、行李置放空间与燃料储量，并考虑车辆安全性与重量平均分配，建议轿车车载储氢瓶置于轿车底盘下方中部、后座乘客椅座的下方，以及后备箱与后轮间的开放空间。受空间的限制和规避停驶期间安全排放的风险，可采用两个或三个 35MPa/70MPa 高压储氢瓶。乘用车储氢瓶的安装及布置方案策略案例参考图 2-1。

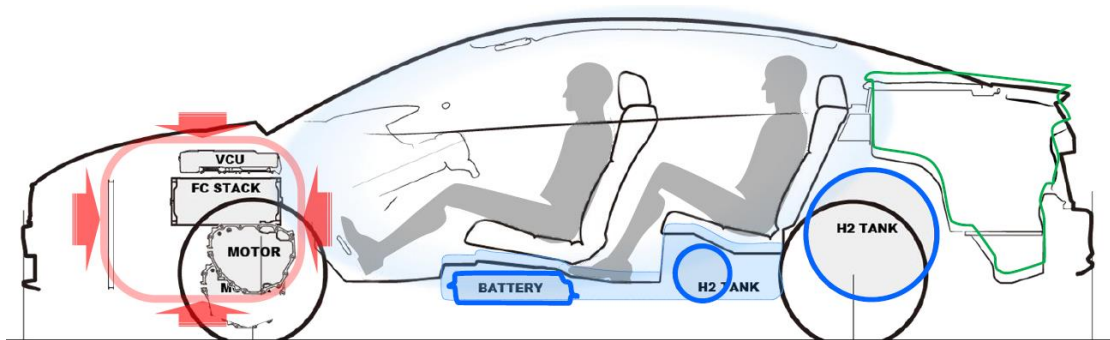


图 2-1 燃料电池乘用车储氢瓶放置策略案例

2.1.3 商用客车车载储氢瓶安装及布置案例

由于底盘放置了动力电池、DC/DC 转换器及驱动电机，加上目前商用客车多为低底盘客车以方便乘客搭乘，建议将燃料电池商用客车的多瓶组车载氢系统布置于车顶。除了考虑负载均衡以及不影响客车内部乘车空间外，车顶氢系统的罩壳可做成玻璃钢件，顶裙围采用成型的铝合金板，有效地保证车辆外观的平整性与连贯性。顶部的空间更有利于布置多个氢瓶，以增加储氢量和续驶里程。此外氢系统罩壳顶部可以打开，方便储氢瓶的维护与安全操作。图 2-2 为供氢系统布置于顶部前半部的燃料电池商用客车案例。

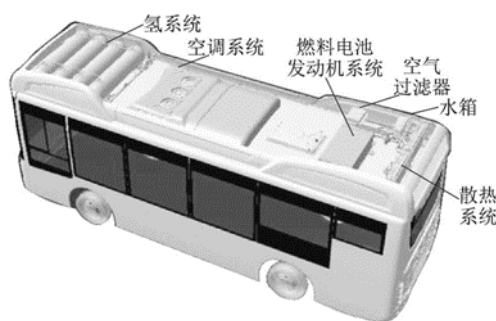


图 2-2 燃料电池商用客车储氢瓶放置案例

2.1.4 商用货车车载储氢瓶安装及布置案例

商用货车为了保证其续驶里程超过 350 公里，目前通常布置多瓶组 35MPa 的车载氢系统，中小型货车设置双瓶组或三瓶组，大型货车的储氢瓶可能会超过四组，必要时采用 70MPa 储氢系统以提高储氢量和续驶里程。建议将储氢瓶以横卧叠排式放置于靠近牵引头的车辆底盘上，可增加货车箱的空间利用率。商用货车氢系统的布置方案可参考图 2-3。

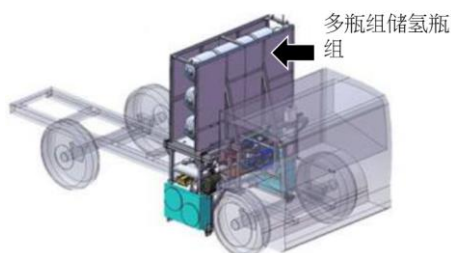


图 2-3 燃料电池商用车储氢瓶放置策略

2.2 安全设计及管理

2.2.1 氢系统安全设计一般原则

- (1) 氢气供应、连接装置及管路应能防止氢腐蚀及氢脆。

(2) 氢气供应系统应有过流保护装置或其他措施，当检测到氢气储存容器或管路内压力异常降低或流量异常增大时，能自动关断储氢瓶内的氢气供应；如采用过流保护阀，该阀应安装在主关断阀上或紧靠主关断阀处；还应设置压力释放装置，在释放管路的出口采用必要的保护措施，防止在使用过程中被异物堵塞，影响气体排放。

(3) 氢气供应阀组应符合以下要求：向燃料电池系统供应氢气，既具有减压阀功能，又具有安全关闭阀功能，阀的关断时间不超过 1s；电气操作的氢气供应阀应符合 GB14536.19-2017 规定的要求。

(4) 氢系统可能产生静电的地方要可靠接地，接地点应使用铜螺母，供氢系统外壳与接地端子间的电阻应小于 0.1Ω；或采取控制氢泄漏量及浓度的措施，以使得即便在产生静电的地方也不会发生安全问题。

(5) 氢系统应安装氢气浓度检测装置，当检测到氢气浓度超过 50%LFL，能自动关断储氢瓶内的氢气供应。

(6) 氢系统其他安全技术要求，应符合 GB/T34872-2017 的要求。

2.2.2 高压储氢瓶

车载高压储氢瓶应依据 GB/T 35544-2017《车用压缩氢气铝内胆碳纤维全缠绕气瓶》、TSG R0006-2014《气瓶安全技术监察规程》等法规和标准进行设计、制造与检验；储氢瓶充装、运输、储存、使用与检验须符合 TSG R0006-2014《气瓶安全技术监察规程》及 TSG R0009-2009《车用气瓶安全技术监察规程》的规定。车用储氢瓶常用的公称工作压力有 35 MPa 和 70MPa 两种规格，工作环境温度为-40℃~85℃，设计使用寿命 15 年（35 MPa）和 10 年（70 MPa），根据工作压力和使用场景的不同，设计循环充放次数为 7500-11000 次，当气瓶实际使用年限未达到设计年限，但充装次数已达到设计循环充放次数时候，气瓶应当报废；此外，车辆已达使用年限或欲报废时，气瓶需随车报废。

2.2.2.1 高压储氢瓶生产制造资格

高压储氢瓶制造厂家应具有与所生产储氢瓶相符合的压力容器特种设备制造许可。车用压缩氢气铝内胆碳纤维全缠绕气瓶所需要的制造许可资质为 B3（3）。

2.2.2.2 型式试验与出厂试验

车用高压储氢瓶应依据 GB/T 35544-2017《车用压缩氢气铝内胆碳纤维全缠绕气瓶》中的规定，按规格进行型式试验，按批次进行破坏性试验，逐只进行出厂试验，并达到合格指标。为了确保高压储氢瓶的安全性，试验项目包括：缠绕层力学性能、拉伸试验、水压试验、

气密性试验、水压爆破试验、常温压力循环试验、火烧试验、极限压力温度循环试验、加速应力破裂试验、裂纹容限试验、环境试验、跌落试验、氢气循环试验、枪击试验、耐久性试验、使用性能试验等。

2.2.2.3 定期检验

(1) 按《气瓶安全技术监察规程》的要求，储氢瓶应逐只或随车进行定期检验，储氢瓶定期检验周期为三年，并应到有资质的检验单位定期去检验。

(2) 储氢瓶的拆卸检验会改变系统管路阀件的密封状态，重新装配的过程可能会导致管路连接件的失效和必要的更换，同时需要重新检测系统密封的可靠性。在储氢瓶本体质量可靠的前提下，应尽量避免或减少储氢瓶的拆卸检验。

(3) 储氢瓶在使用过程中，发现有严重腐蚀、损伤或对其安全可靠性能有怀疑时，应提前进行检验。

(4) 报废储氢瓶应进行破坏处理确保其无法再次充装。

2.2.2.4 储氢瓶的安全使用

(1) 采购和使用有制造许可证的企业产品，并在检验合格有效期内。

(2) 使用者必须到已办理充装注册的单位或经销注册的单位充装氢气。

(3) 储氢瓶使用前应进行安全状况检查，并对充装气体进行确认。不符合安全技术要求的储氢瓶严禁使用。应严格按照使用说明书的要求使用储氢瓶。

(4) 储氢瓶及其系统的放置地点，不应靠近热源、明火及易受电击的地方，应保证气瓶瓶体干燥。

(5) 储氢瓶及其系统不应储存在阳光曝晒和高潮湿及含有腐蚀介质的环境中，如需长期储存，应采取可靠的防潮防护等措施。

(6) 储氢瓶的复合材料层严禁划伤、磕碰以及酸碱腐蚀。

(7) 严禁敲击、碰撞、挖补、打磨储氢瓶，严禁在储氢瓶上进行电焊引弧，严禁损伤缠绕层及擅自更改气瓶标签，严禁用温度超过 85°C 的热源对储氢瓶加热。

(8) 开启瓶阀时，操作者应站在瓶阀气体喷出方向的侧面，避免气流朝向人体。

(9) 禁止在带压力的气瓶上用拧紧瓶阀或垫圈螺母的方法来消除泄漏。

2.2.2.5 储氢瓶出现火灾时的消防措施

(1) 在确保人身安全的情况下，切断气源。

(2) 疏散人员远离火灾区，并往上风处撤离；对着火区进行隔离，防止人员入内，可能的话，将处在火灾区附近、未受火直接影响的储氢瓶转移到安全地段。

(3) 如氢气无法切断的话，可让气体燃烧，直到储氢瓶内的氢气烧完为止。注意：这种处理方法是在假设火势可以控制的前提下采用的，而且，燃烧过程中，应持续用水对储氢瓶进行持续冷却，直到氢气完全烧尽为止，避免储氢瓶因过热而发生爆炸事故。

(4) 若着火点是在室外通风条件良好的地方，如可能，站在安全位置上进行灭火。并用水对着火的储氢瓶、以及着火区附近的所有压力容器进行持续冷却，使它们在火场中保持冷却。不得设法搬动或靠近被火烘热的储氢瓶。

(5) 如遭遇火警，应立即向消防队报告，告知对方着火的具体地点以及着火原因。火灾解除后，不得使用遭受火灾影响的储氢瓶。

2.2.3 高压系统阀门

车载氢系统除储氢瓶外，还可包含：加氢口（加注口）；安装于电堆与车载氢系统之间的减压阀、安全阀、手动排空阀；集成式瓶口阀，含电磁阀、单向阀、手动截止阀、温度传感器、温度驱动的压力释放装置(TPRD)、压力传感器等；或压力驱动(如爆破片等)的压力释放装置(PRD)，以上构成高压系统核心安全阀门。基本的典型加注与保护措施如图 2-4 所示。另外在储氢瓶与驾驶座附近配置氢气传感器或氢气泄漏检测装置，可在规定响应时间内（一般 1s）感知氢气泄漏、关闭氢气瓶电磁阀并发出警报，形成多重保护措施。

加氢口应符合 GB/T 26779-2011《燃料电池电动汽车加氢口》标准规定，并单独进行强制性检验。集成式瓶口阀和温度驱动的压力释放装置，除了单独进行型式试验之外，还应与高压氢瓶一起进行火烧试验以验证其安全性，并出具型式试验报告。

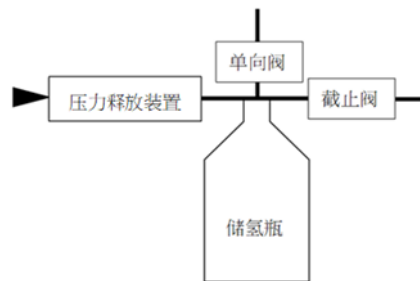


图 2-4 氢气基本加注流程与保护措施示意图

2.2.3.1 储氢瓶内部压力、温度过高

(1) 当储氢瓶内部压力超过额定值，有安装 PRD 的会自动将多余压力排空。

(2) 当储氢瓶内外部温度过高，TPRD 熔断并释放储氢瓶内部因温度升高造成压力的升高，从而保护氢瓶的安全。

2.2.3.2 氢气泄漏

(1) 氢气传感器可在其响应时间内（一般为 1s）感知到氢气泄漏。在燃料电池系统中易发生氢气泄漏或者氢气积聚的部位（危险区域，0 区和 1 区的稀释范围内），且驾驶员容易识别的部位安装氢气泄漏报警提醒装置，泄漏量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，建议配置与传感器相应的安全连锁装置。当空气中氢气体积含量不低于 $2.0\% \pm 1.0\%$ 时，发出警告；空气中氢气体积含量不低于 $3.0\% \pm 1.0\%$ 立即关断氢供应；但如果车辆装有多个氢系统，允许仅关断有氢泄漏部分的氢供应。

(2) 出现氢泄漏时，在确保人身安全下，根据情况将车辆断电，自动关闭瓶口阀中的电磁阀，切断从瓶内氢气泄漏的源头。

(3) 消除周围明火，停止周围一切可能产生明火或火花的作业。

(4) 疏散人员，避开气流，往上风处迅速撤离，对漏气场所进行隔离，避免无关人员入内。

(5) 车辆上的储氢瓶发生泄漏时，不得将氢气排放到有火花、通风条件差、密闭或存放氧化剂（如氧气）的地方。注意：排空储氢瓶时，应控制氢气流速，避免因氢气流速过快而导致氢气着火事故。排空氢气的过程中，现场应准备适当的灭火装置并有人在现场监控，以确保安全。排空后，关上瓶阀。

(6) 进入漏气地段之前，应事先对该地段进行合理通风，加速扩散，确保安全。

(7) 漏气储氢瓶要妥善处理，修复并检验合格后再用。

2.2.4 控制仪表类（压力表，各类传感器与控制器，液位计等）

车用各类仪表的标准须符合 QC/T 727 《汽车、摩托车用仪表》、QC/T 824-2009 《汽车用转速传感器》中的规定，其中包含：

(1) 压力表应能承受 30000 次的交变循环试验。试验时其各部分应无异常变化。

(2) 转速传感器应能承受 1000h 的交变循环试验。试验时其各部分应无异常变化。

(3) 汽车用电子车速里程表应 100000km 的耐久性试验。试验时其各部分应无异常变化。

-
- (4) 电流表应能承受 30000 次的电流交变循环测试。试验时其各部分应无异常变化。
 - (5) 温度表应能承受 3000 次的指示交变循环测试。试验时其各部分应无异常变化。
 - (6) 电压表应能承受 20000 次的电压交变循环测试。试验时其各部分应无异常变化。
 - (7) 氢气泄漏传感器应有 8 年的寿命。
 - (8) 定期检验各仪表功能是否正常。
 - (9) 燃料电池汽车建议有自检功能，可自动诊断车辆上所有的电子传感器使用疲劳次数，提供信息给驾驶员判断车辆安全的依据。

2.2.5 储氢瓶的固定结构

储氢瓶的固定结构失效会使得氢瓶及其管路阀门等失去保护，缩短其使用寿命甚至发生氢气泄漏等安全事故。

- (1) 储氢瓶安装到框架后，建议针对每个系列的车载供氢系统进行振动可靠性试验，检验结构件、支撑件强度和车载氢系统的管路与支架的可靠性。
- (2) 建议定期检查车载氢系统固定结构松紧程度，并观察氢瓶是否有位移和转动。

2.3 氢气加注

2.3.1 高压氢气加注工艺

高压氢气加注主要涉及的步骤，包括高压氢气长管拖车内的氢气转注至加氢站，再经由氢气压缩机增压输送至高压储氢瓶（瓶组或蓄能器），并经过热交换系统降温，最后再通过加氢机对车辆进行加注。

加注工艺及设施、氢气压缩工艺及设备、氢气储存系统与设备、加氢机与氢气管道和附件需达到 GB 50516-2010《加氢站技术规范》、GB/T 34584-2017《加氢站安全技术规范》中的要求；加氢机的设计制造应符合 GB/T 31138-2014 和 GB 50516-2010 的有关规定。

用于充装燃料电池汽车的氢气质量应符合 GB/T 37244-2018《质子交换膜燃料电池汽车用燃料氢气》或 SAE J2719-2015《Hydrogen Fuel Quality for Fuel Cell Vehicles》标准的规定，尤其应注意气体杂质成分的控制与检测，因为微量的 CO、CO₂、硫化物、烷烃、卤化物等杂质就会导致 Pt 催化剂中毒、双极板腐蚀、MEA 劣化，使得燃料电池性能衰减和性能不可恢复，卤化物还会造成加氢站不锈钢设备的应力腐蚀。不能用直接采用工业氢气和高纯氢气质量标准。

在首次加注氢气至储氢瓶前，为了确保瓶内氢气无燃烧的可能性，建议使用氮气或惰性气体进行瓶内吹扫，然后通过符合 GB/T 37244-2018 的氢气进行置换。

若氢气出站的质量无法达到标准,应根据进站氢气纯度或杂质含量选择相应的氢气纯化装置,氢气纯化装置宜设在氢气压缩机前;加氢工艺系统中的纯化、压缩、计量、混合、输送、储存等工序,均应设有压力检测点,并应根据安全运行的要求设置超压或低压报警装置。

2.3.2 加注安全与智能化监控

(1) 氢气加注应在空旷、通风敞开环境下操作,加氢机不宜安放在室内。如果要在室内进行加氢操作,应选择空旷通风区域,并有防止泄漏氢气聚集和预防火灾事故的安全措施。

(2) 加氢机应安放在高度超过 120 mm 的基座上,基座边缘离加氢机至少 200mm。加氢机周围应设置防撞柱(栏),预防车辆撞击造成加氢机损坏。

(3) 加氢机或加氢岛应设置紧急切断按钮以及与加氢系统配套的自动控制装置,当紧急切断按钮被触发时应实现下列连锁控制:

- 加氢站断电(监控、照明用电除外);
- 自动关闭加氢机进气管道的切断阀;
- 自动关闭上游的压缩系统。

(4) 加氢机内应设置氢气泄漏检测报警装置,当泄漏氢气在空气中含量达 0.4%时应向加氢站内控制系统发出报警信号,当泄漏氢气在空气中含量达 1.6%时应向加氢站内控制系统发出停机信号,并自动关闭阀门停止加气。

(5) 为了防止消费者在加氢枪未脱离车辆时将车辆驶离加氢站,导致相关管路破裂引起氢气大量泄漏,在连接加氢枪的加气软管上应设置拉断阀。拉断阀、加气软管及软管接头等,应符合下列规定:

- 拉断阀在外力作用下分离后,两端应能自行密闭,防止氢气泄漏;
- 加气软管及接头应选用具有抗腐蚀性能的材料。

2.3.2.1 高压加氢过程中的温度监控

高压氢气在储氢瓶快速加注过程中,会产生热量,导致储氢瓶内温度伴随着加氢过程快速升高,给储氢瓶的使用带来安全隐患,因此加氢机必须通过设计合理的加注程序和手段,控制加注过程的温升,确保高压氢气安全的快速加注。

(1) 70MPa 加氢机必须具备氢气预冷功能。预冷温度和加注速率可参照 SAE J2601《Fueling Protocols for Light Duty Gaseous Hydrogen Surface Vehicles》标准。如果加氢机具备

红外通讯功能，应满足 SAE J2799-2014 《Hydrogen Surface Vehicle To Station Communications Hardware And Software》。

(2) 35MPa 加氢机可通过预冷、控制加注速率、延长加注时间等措施，确保加注过程储氢瓶内温度不超过 85°C。

2.3.2.2 防超压加注及防超量加注

氢气加氢机应具有充装、计量和控制功能，并应符合下列规定：

- (1) 加氢机额定工作压力为 35MPa 或 70MPa，分别针对不同的车载氢系统。
- (2) 设置自动加注程序进行保护，当加注到储氢瓶的设定压力时，自动停止加注。
- (3) 配置安全阀预防系统超压。
- (4) 加氢机充装气流量不应大于 3.6kg/min。
- (5) 加氢机计量宜采用质量流量计计量，最小分度值应为 10g。

2.3.2.3 加氢枪与加氢口的通讯协议

在 70MPa 高压氢气运用场景中，加氢枪与安置在车辆上的加氢口之间需有通讯协议，使得站上的管理系统中心可实时监控车辆上储氢瓶压力、温度等安全数据，此通讯协议应符合 SAE J2799-2014 《Hydrogen Surface Vehicle To Station Communications Hardware And Software》中的有关规定，通讯界面如图 2-5 所示。

通讯协议应满足以下要求：

- (1) 车辆上储氢瓶的内部温度、加注压力、储氢瓶参数等信息可通过此通讯回馈至加氢机后回传至站上管理系统；
- (2) 站上管理系统可根据接受到的压力、温度等信息，调整加注程序；
- (3) 当车辆上储氢瓶的内部温度、加注压力等信息超出车辆本身的规范，可通过此协议回馈信息，使得加氢机停止加注；
- (4) 车辆上的储氢瓶加注次数（疲劳充放次数）累积接近设定值时，可通过此协议回馈信息，于车辆显示仪表及管理系统中心显示警告标语；累积至设定值时，可通过此协议回馈信息，管理中心判别不予加氢。
- (5) 当此通讯协议不能够被加氢机或管理系统辨别，又或者通讯协议讯号中断，则停止加注。

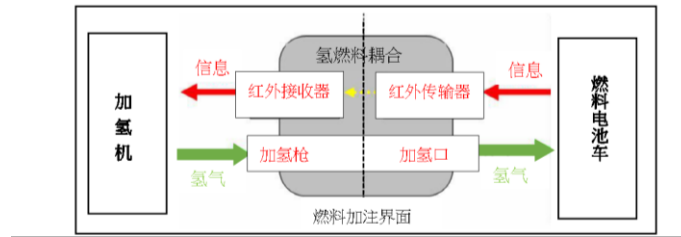


图 2-5 加氢枪与加氢口界面图

2.3.2.4 加氢安全机制与控制策略

加氢过程中的氢气计量控制应符合，GB/T 34584-2017《加氢站安全技术规范》与 GB 50516-2010《加氢站技术规范》中的规定。

(1) 加氢之前，燃料电池系统、汽车高压电系统必须关闭；汽车必须在加氢站接地（除非汽车制造厂商申明不需采取接地措施）。

(2) 所有氢气泄放点，都汇集统一排放。

(3) 当有报警发生后，系统自行切断氢气进气。

(4) 加氢机应设置安全泄压装置，并具备管路系统吹扫及高压气体泄放功能。

(5) 管路端配有压力表及压力传感器，指示各管管路内部压力。高压管路出口配有安全泄压阀，起到泄压保护作用，保护管路压力不超过设定压力值。

2.4 氢气安全释放

2.4.1 高压氢气释放

加氢站与燃料电池车高压氢气释放应符合 GB 4962-2008《氢气使用安全技术规程》、GB/T 24549-2009《燃料电池电动汽车 安全要求》的规定。

2.4.1.1 加氢站方面

(1) 氢气排放管应采用金属材料，不得使用塑料管或橡皮管。

(2) 氢气排放管应设阻火器，阻火器应设在管口处。

(3) 氢气排放口应垂直设置，当排放含饱和水蒸气的氢气（产生两相流）时，在排放管内应引入一定量的惰性气体或设置静电消除装置，保证排放安全。

(4) 室内排放管的出口应高出屋顶 2m 以上，室外设备的排放管应高于附近有人员作业的最高设备 2m 以上。

(5) 排放管应设静电接地，并在避雷保护范围之内。

(6) 排放管应有防止空气回流的措施。

(7) 若贮存场所设有氢气排空管，室外氢气排空管与避雷针的水平距离不小于 10m，高度上低于避雷装置 5m。

(8) 氢气排放速度应不超过 150m/s。

(9) 排放管应有防止雨雪侵入、水气凝集、冻结和外来异物堵塞的措施。

2.4.1.2 燃料电池汽车方面

(1) 氢气排放系统通向空气排放系统混合后向外界排放。因此排放系统应采用抗冷凝物腐蚀的材料制造，若采用非金属材料则应考虑其温度极限、强度和对冷凝物的耐腐蚀。

(2) 燃料电池系统的排气部件应经久耐用。排气管路应具有适当的支撑并配备防雨盖或其他不限制或阻碍气体从排气管道排出。应提供相应措施，如排水装置，以防水、冰和其他杂物在排气管内积聚或阻塞排气管路。排气系统应良好密封，不得有泄漏。

(3) 车外释放：在启动、行车、停车等常规操作中，应保证释放、吹扫和其他溢出等情况下，跟氢气有关的危害不会发生。汽车排气时，不能导致汽车周围氢气浓度超过 75%LFL，应在距离排气口 100mm 处气流中心线上进行氢气浓度测量。

(4) 车内释放：乘客舱、其他舱中氢气浓度应低于 25%LFL。

(5) 当发生故障或意外事故时，燃料系统需要通风放气。气体流动的方位、方向应远离人、电、静电累积源。氢气释放装置应安装在汽车的高处，且应防止排出的氢气对人员造成危害，避免流向汽车乘客舱、行李舱、车轮所在空间，避免流向汽车的电气端子、电气开关器件等部件。

2.4.1.3 所有 PRD 排气一般原则

(1) 不应直接排到乘客舱和行李舱。

(2) 不应排向车轮所在的空间。

(3) 不应排向其他氢气容器。

(4) 与 PRD 相连的管道、通道和出口的制造材料使用熔点高于 538°C (1000°F) 的金属材料。

3 燃料电池堆及系统安全

3.1 燃料电池堆安全

3.1.1 燃料电池堆设计

3.1.1.1 燃料电池堆分类

目前车用的燃料电池主要是质子交换膜燃料电池堆（PEMFC），质子交换膜燃料电池堆根据极板使用的材料不同，分为金属极板燃料电池堆和石墨极板燃料电池堆等。

3.1.1.2 燃料电池堆功率

燃料电池堆体积比功率决定了后期电堆和系统的组合方式以及电堆的热管理设计。较小体积比功率电池堆有利于热的扩散，对整体电堆和系统热管理设计有益。较大体积比功率电池堆有利于系统设计和制造过程简单化和电池堆体积的减小。

不断提升燃料电池堆体积比功率是长期、系统的工作，建议要在确保安全性、可靠性和关键电性能指标的前提下，提升燃料电池堆的比功率和功率。

3.1.1.3 燃料电池堆关键材料

燃料电池堆使用的材料对工作环境应有耐受性，燃料电池堆的工作环境包括振动、冲击、多变的温湿度、电势以及腐蚀环境；在易发生腐蚀、摩擦的部位应采取必要的防护措施。

（1）质子交换膜

质子交换膜是质子交换膜燃料电池的核心部件，其主要作用是分隔阳极和阴极，阻止燃料和空气直接混合发生化学反应，并传导质子、阻止电子在膜内传导；质子交换膜的质子传导率越高，膜的内阻越小，燃料电池的效率越高。质子交换膜材料要具有足够的化学、电化学、热稳定性和一定的机械稳定性，保证燃料电池在工作过程中能够耐受气流冲击、电流冲击和自由基攻击而不发生降解，保证燃料电池内部不会发生气体窗口窜漏、短路等危险。

对于全氟磺酸膜类质子交换膜，要有较好的热稳定性、化学稳定性和良好的机械稳定性，避免其在高温时发生化学降解，防止燃料电池在高温和高电位时出现化学降解导致气体窜漏引发氢氧混合。气体串漏对燃料电池的安全性有较大影响，要优先选用机械强度高的质子交换膜。质子交换膜厚度和燃料电池安全性密切相关，燃料电池质子交换膜厚度的选择建议充分考虑由于降低隔膜厚度带来的安全风险。

（2）气体扩散层

气体扩散层由支撑层和微孔层两部分组成,其主要作用包括作为燃料气进入催化层之前的缓冲与扩散层;为电子和反应生成的水提供传输通道;作为膜电极的支撑骨架为质子交换膜和催化剂提供物理支撑。

气体扩散层的材料主要有碳纤维纸、碳纤维编织布、无纺布和碳黑纸,其中碳纤维纸由于制造工艺成熟、性能稳定、成本相对较低和适于再加工等优点,成为扩散层的首选。气体扩散层在生产制造时需要避免存在较长的毛刺,避免在与质子交换膜热压的时候刺破质子交换膜,导致气体串漏引发危险。

(3) 膜电极

膜电极主要由质子交换膜、气体扩散层和催化层组成。目前存在三代膜电极制备技术:第一代 GDE、第二代 CCM 及第三代有序化膜电极。膜电极是电化学反应主要发生场所,提高膜电极性能能够有效提高燃料电池单电池的性能。

在膜电极的制备过程中,过度压紧碳纸有可能会刺穿质子交换膜,造成阴极和阳极两侧窜气,产生危险。所以碳纸的热压程度应根据使用质子交换膜的厚度控制在合适的范围内。

伴随着电化学反应的进行,膜电极中质子交换膜逐渐失效,一方面会导致磺酸基团流失,降低质子交换膜的导电性能;另一方面会导致质子交换膜降解,同样会导致阳极侧与阴极侧之间发生窜气,产生危险。

(4) 极板

燃料电池极板是燃料电池的核心零部件,其主要作用包括单电池之间的连接;在膜电极表面输送氢气和氧气;收集和传导膜电极产生的电流;排出反应产生的热量和水。目前商业化燃料电池极板材料主要是石墨碳板、复合极板和金属极板三大类。

极板要求高电导率、高导热率和高强度,保证全生命周期燃料电池的安全性。极板表面的金属粉尘、油含量、达因值等关键指标要有效控制。对金属极板的表面处理可以有效改善材料的耐腐蚀性和寿命,减少燃料电池在工作中的酸和水汽腐蚀问题。

(5) 端板

燃料电池端板需要一定的强度和良好的绝缘性。

燃料电池端板一般使用金属、环氧树脂、玻璃纤维板和聚酯纤维板,端板上有集流板负责将电流导出电池,端板上有弹簧和弹簧盖板,通过弹簧和弹簧盖板,将燃料电池堆的紧固力控制在一定范围内。端板要经过严格的实验设计和优化验证,并进行强度测试,保证振动冲击条件下的可靠性和安全性。同时燃料电池堆在工作时温度较高,需要保证端板在较高温

度下的稳定性、控制形变。

3.1.1.4 散热设计

燃料电池堆在大功率放电时，电池内部会产生大量的热，导致温度升高，易引起安全问题。燃料电池堆在结构设计时，要模拟分析电池内部发热量分布、热扩散路径和传递速度，验证优化冷却水流量和温度，保证电堆产生的热量能够及时高效的排出电堆，使电堆的温度控制在合理的范围内。

3.1.1.5 密封设计

燃料电池堆的密封主要是极板与膜电极之间的活化区域密封，一般采用硅橡胶、氟硅橡胶、三元乙丙橡胶（EPDM）、聚异戊二丁烯（PIB）、氯丁橡胶和丁睛橡胶等高弹体材料。除此以外还有 MEA 各层间的密封、接头密封、封装外壳的防水防尘等。活化区域密封件主要功能是防止气体、冷却水从极板和膜电极的边缘泄漏出去，造成易燃气体泄漏，因此需要在极板和膜电极上设计密封结构，同时需要设计密封胶线。由于密封胶线在电堆组装应力及较高温度下变形较大，压缩永久形变会变差，在燃料电池运行环境下会缓慢降解，为了在燃料电池堆全生命周期内保证密封的可靠性，需要考虑密封圈的耐温、耐压、耐自由基和 F 攻击等特性。

3.1.1.6 封装设计

燃料电池堆在组装完成后需要进行封装，因为极板和膜电极侧面在未进行封装时是裸露的，当燃料电池堆在向外输出电能时，一旦有导电物体接触极板，就会导致导电物体带电，甚至引起电堆的短路，从而引起人员、设备和电堆的危险。封装材料必须具有较强绝缘性和高可靠性，保证在燃料电池堆在生命周期内不会脱落或失效。

燃料电池堆应有外壳做必要防护，防止其部件与外部高温部件或环境接触。燃料电池堆外壳应避免容易对人体产生危害的结构。

封装外型尺寸应设计与电堆和端板空间匹配，要对各个方向尺寸开展公差分析，同时保证封装材料在装配时不被损坏，从而导致极板或膜电极的裸露。

3.1.2 燃料电池堆制造环境要求

燃料电池堆生产过程温度、湿度环境条件必须确定并得到保证。一般不允许出现超出温度、湿度极限值的情况，为此应制定适当的应对方案。燃料电池膜电极（MEA）对水分非常敏感，典型地，在 25℃时，膜电极车间的相对湿度应控制在 40%±5%。

必须控制燃料电池堆生产过程的粉尘度，需要防止外来的颗粒物渗透到任何生产区域。

生产系统需要防止金属磨损，如果不能防止金属磨损，应采取适当措施保证这些磨损产生的颗粒不进入生产过程。应对定期检测到的粒子进行常规分析，以确定粒子的数量、大小和组成，特别是在导电性 (如金属粒子) 方面。颗粒数量、大小、成分超出规格要求应立即采取纠正措施。粉尘度应控制在 10 万级以下，MEA 制备、金属板涂层部分关键工序的粉尘度应在 1 万级以下。

3.1.3 燃料电池堆测试

3.1.3.1 燃料电池堆测试要求

燃料电池堆在出厂前需要进行相关的测试，在保证性能的同时保证安全，同时需要对电池堆的外观进行检测，保证电池堆外观没有明显缺损。

3.1.3.2 燃料电池堆泄漏测试

为确保电池堆的气密性，需要对燃料电池堆进行泄漏测试。将电池堆的氢气、空气和冷却水端口与泄漏测试机的三个端口相连接。打开测漏机开始进行泄漏测试，测试电池堆的外部泄漏量（总外漏、空气腔外漏、氢气腔外漏、冷却腔外漏）和内部窜漏量（空到氢窜漏、氢到空窜漏、空到冷窜漏、氢到冷窜漏）。电池堆中每片单电池外部泄漏量和内部窜漏量分别不得超过相应的规定值，该规定值由测量使用气体的类型、压力以及 MEA 的面积来确定。

3.1.3.3 燃料电池堆绝缘性和耐高压测试

使用高压绝缘测试仪对电池堆进行绝缘性测试。把电池堆放在高压绝缘测试台，短接阴阳极两个集流板的端子。打开万用表，测量端口端子与阴阳极端子之间的电阻，读数应很高（显示 "OL"）。

对电池堆进行耐高压测试，确保金属杆压住所有的绑带，确保电池堆两端短接，高压绝缘测试仪的红色正极线夹到短接线端，黑色负极线接到金属杆，用安全罩盖住电池堆组件，打开电源开始测试。当计时器结束时，记录绝缘阻值。

3.1.3.4 燃料电池堆性能测试

燃料电池堆在完成泄漏测试、电绝缘测试和耐高压测试后，确保没有泄露、绝缘和耐高压问题才可以进行燃料电池堆性能测试。

将燃料电池堆放置在燃料电池性能评价测试台上，连接好供气管路、冷却水管路、负载线路、巡检线路，待一切线路连接就绪，开始给电池堆进行加热，待电池堆温度到达指定温度后开始给燃料电池堆进行通气和加载，加载电流根据电池堆的设计有所区别，一般加载至额定工作电流，同时检测燃料电池堆电压情况，单节电压最低不能低于 0.3V，避免燃料电

池堆中单池电压过低引起反极，将质子交换膜烧穿引起氢空混合，出现安全隐患。当单节电压低于 0.3V 时，应及时减小电流输出，提升燃料电池单池最低电压，如果减小电流仍单池电压仍然低于 0.3V，应立即停止测试，寻找原因。

3.1.4 燃料电池堆安全评价

3.1.4.1 机械冲击评价

燃料电池堆安装固定后，在 3 个轴向：X 向、Y 向、Z 向上以 5.0g 的冲击加速度进行冲击试验。机械冲击脉冲采用半正弦波形、持续时间 15ms，每个方向各进行一次。

燃料电池堆冲击测试之后，机械结构应不发生损坏，气密性满足前述 3.1.4.2 气密性检测要求，绝缘性应满足前述 3.1.4.3 绝缘性要求。

3.1.4.2 振动评价

振动测试模拟车辆长时间在复杂路况行驶（如搓板路、颠簸路、起伏路等）。燃料电池堆长时间振动颠簸后电池堆内部不能出现错位从而发生短路和气体泄漏等安全问题。实验要对燃料电池堆进行 X、Y、Z 三个方向的振动测试，每个方向 21h。要求测试后，电池堆连接可靠、结构完好，最小监控单元电压无锐变，电压差的绝对值不大于 0.15V，无泄漏、外壳破裂、爆炸或着火等现象。燃料电池堆的绝缘性能和气密性性能无明显下降。

振动测试后，燃料电池堆中的零部件无明显位移、扭转和弯曲；零部件的谐振频率与初始值的偏差应小于 10%，各个紧固螺丝的剩余紧固力不低于初始值的 60%；各个电连接点的电阻与初始值的偏差应小于 5%。

3.1.4.3 气密性评价

燃料电池堆处于冷态，关闭燃料电池堆的氢气排气端口、空气排气端口和冷却液出口，同时向氢气流道、空气流道和冷却液流道通入氮气，压力均设定在正常工作压力，压力稳定后关闭进气阀门，测量气体泄漏量，具体指标应满足 3.1.4.2 的要求。

3.1.4.4 电安全

（1）绝缘性能

燃料电池堆在加注冷却液而且冷却液处于冷态循环状态下，正负极的对地绝缘性要求分别不应低于 100Ω/V。

（2）人员触电防护

燃料电池堆人员触电防护要求应符合 GB/T 18384.3-2015 的相关规定。

应防止人员与 B 级电压电路的带电部分直接接触，因此燃料电池带电外层需有遮栏或外壳，防止接近带电部分。

(3) 接地保护

当燃料电池堆输出电压高于 60V，燃料电池堆需有接地点，接地点与所有裸露的金属间电阻小于 0.1Ω。

具体测量方法为，测量前燃料电池堆与其相连的其他供电电源和负载断开，测量时测量仪表端子分别连接至接地端子和燃料电池堆外壳。

3.1.4.5 警示标识

燃料电池堆的警示标识应满足以下规定：

(1) 当燃料电池堆的最高电压大于 60V 时，燃料电池堆上应有高压电标识，标识符号采用 GB/T 18384.1-2015 中规定的标记符号；

(2) 燃料电池堆要进行极性标识，正极使用红色，负极使用黑色；

(3) 其他方面内容标识和说明，应符合 GB/T 20042.2-2008 中第八章的规定。

3.1.5 燃料电池堆储运安全

3.1.5.1 包装安全要求（包括铭牌、警示标签和包装）

燃料电池堆的包装应防水、防潮，必要时应该在包装袋中加干燥剂除湿。包装要考虑运输环境条件（公路运输、铁路运输、水路运输等情况）下对燃料电池堆的保护，防止搬移过程中的挤压和损伤，导致安全失效。

燃料电池堆应以最小单元隔离固定，预留安全距离，避免发生电气安全问题。

3.1.5.2 运输与贮存安全要求

燃料电池堆必须牢靠固定在货物运输装置的内部；避免对燃料电池堆日晒、雨淋、受潮；避免燃料电池堆受压，严格按照产品规格书要求摆放。

3.2 燃料电池系统安全要求

3.2.1 通用安全性

3.2.1.1 外壳防护

燃料电池系统的外壳应具有保护操作人员不受带电、过热（最高表面温度超过 60°C）等存在危险性部件的伤害，在带电或过热的部位应具有警示标识，警示标识应符合 GB 2894-2008 的规定。

燃料电池系统外壳安全防护设计时应考虑外力挤压、跌落、振动、冲击等工况下外壳结构对燃料电池系统的防护，使系统仍能够满足功能要求。外壳防护材料应符合 ROHS 要求，还应满足客户特殊要求，如识别如硫含量等有害化学成分。

(1) 燃料电池系统外壳不得具有可能造成人身伤害的尖利边角和粗糙表面，金属外壳通常应设计良好的接地点，避免尖锐带电体的尖端放电；

(2) 燃料电池系统外壳应具有足够的强度、刚度、耐用性、耐腐蚀性及其他物理特性，以在存储、运输、安装及最终使用地区的工作环境条件下，避免出现外壳的局部塌陷、间距缩小、结构松动、零部件移动或其他严重缺陷，防止增大着火和意外事故的危险；

(3) 如果燃料电池系统安装于车辆易涉水部位，则燃料电池系统外壳的设计和试验应符合 IP67 防护等级；

(4) 由于故障或其他原因，燃料电池系统内的零件可能松动或被甩出，因此外壳应足以容纳这些零件并能防止它们甩出；

(5) 在系统全生命周期内，外壳通风口设计应考虑到正常工作情况下不会被尘埃、雪花或植物堵塞；

(6) 在系统全生命周期内，根据燃料电池系统的使用寿命要求和使用区域环境要求来确定系统的防腐蚀等级；

(7) 如果系统外壳内有保温材料，保温材料在正常情况下除导热率低以外还应具有吸水性低、阻燃性好、电绝缘性能好等特点。

3.2.1.2 控制系统及保护部件

设计和制造燃料电池系统的控制系统时，应满足安全和可靠性分析的要求，确保系统部件的单个故障不会导致危险情况发生，设计的手动装置应明确标识，可防止意外调节、启动与关闭。

燃料电池控制系统一般应具备下述告警信息：负载过载、氢气泄漏、燃料电池故障、辅助储能模块故障、DC/DC 模块故障、供氢压力低、供氢压力高、系统输出电压高、系统输出电压低、短路、过温、环境温度高、环境温度低、空气压力低、空气压力高、冷却水路压力低、冷却水路压力高、通讯故障、系统绝缘低、空压机故障等。系统应能自动发出告警信号，

并能通过通信接口将告警信号传送到近端、远程监控设备。

燃料电池系统在以下几种工况下应在控制系统中提供紧急关机和非常关机功能：

(1) 过载保护。当系统输出在额定功率 100%-110%之间，持续 10min 或输出超过额定功率 110%，持续 3s，电压变换单元应自动进入输出限流保护状态，故障消除后，应能自动恢复工作。在上述工况下，燃料电池系统应能发出报警信号；

(2) 燃料电池系统入口氢气高、低压保护。当系统检测到供氢压力低于系统规定的最低压力，应发出报警，燃料电池系统故障停机，同时主动关断阀件停止供氢；当系统检测到供氢压力高于系统规定的最高压力时，应发出报警，燃料电池系统故障停机，关断储氢系统电磁阀停止供氢，同时通过泄压装置，及时释放压力；

(3) 输出过电压及欠电压保护。系统输出电压超过过压保护设定值或者低于欠压设定值时，应发出报警信号。当电压超过过压保护设定值时，燃料电池系统应能自动关机保护；

(4) 短路或漏电保护。当系统中有电路短路或漏电时，控制系统应能通过显示屏或声光等方式发出报警信号，同时可自动切断燃料电池发电输出线或紧急关机；

(5) 氢气泄漏保护。系统应具有氢气泄漏检测功能，并在发生泄漏时能发出报警信号；氢泄漏浓度超过 20000ppm，燃料电池系统自动切断发电输出线或紧急关机；

(6) 系统过温保护。当系统冷却水出口温度超过温度限值，应发出报警，燃料电池系统故障停机；

(7) 燃料电池故障保护。当燃料电池出现单体电压以及压差超过限定值，燃料电池系统应自动进入输出限流保护状态，故障消除后，应能自动恢复工作；如果故障无法消除，应发出报警，并请求燃料电池系统停机。

为保证燃料电池系统能够正常、安全运行，应安装恰当的保护部件，并满足以下要求：

- (1) 保护性装置安装位置应满足维护和检测要求；
- (2) 保护性装置应独立于其他装置可能具有的各种功能；
- (3) 应提供诸如安全泄放阀等限压装置；
- (4) 氢气浓度传感器应根据 IEC61779-6 规定进行选择、安装、校对、使用和维护。

3.2.1.3 软管及软管组合件

软管及软管组合件至少应符合 GB/T15329.1-2003 中I型管的规定。

(1) 用于输送水、氢气、空气的软管应耐腐蚀，减少离子析出，使用过程中没有不可接受的物理性质劣化和对介质的化学污染；

(2) 内部压力超过 100kPa 的管路系统的设计、安装和测试应符合 GB/T 20801.2-2006 规定；

(3) 氢气管路及连接装置应能防止应力腐蚀开裂。管路在燃料电池系统正常、紧急情况、故障运行和停车条件下，都应能在最大允许工作压力和最大允许工作温度下使用。

3.2.1.4 金属管路及其连接件要求

金属管路及其连接件应符合 GB/T20972.1-2007 的规定，与氢气相关的金属部件，其抗氢脆性应符合 HB5067-2005 中的规定，防止当进入燃料电池系统的氢气前端减压阀发生故障时，导致系统管路有高压氢气而发生的氢脆。

氢气管路及连接装置应能防止应力腐蚀开裂。高压下承载或输送流体的刚性与柔性管路和配件都应按照 ISO16528-2007 中的要求进行设计、安装和试验。

金属管路系统应能承受最高运行温度和最高运行压力的共同作用，并能与使用、维修和保养时所可能接触的其他材料、化学品相容。金属管路系统应保持完好，并应具有足够的机械强度，满足耐振动性要求。金属成型弯管在弯曲时不应产生影响使用的缺陷。金属管路安装前应彻底清理管路内表面颗粒物，仔细清除管路端口的障碍物和毛刺。

3.2.1.5 硫化橡胶和热塑橡胶部件要求

硫化橡胶和热塑橡胶零部件，应符合以下条件：

(1) 在制造商规定的产品寿命内，所有材料应能满足运行的最高温度和最高压力的综合要求，并能与正常使用、维护和检修将接触到的其他材料和化学品相容；

(2) 外壳体的聚合物零部件和橡胶零部件应防止被机械损伤。聚合物和橡胶管路可根据使用情况必要时加装防护套管或外罩；作为氢气、空气排放系统管路，应采用抗冷凝物腐蚀的材质制作，应鉴定其耐温、强度和抗冷凝物反应的性能；

(3) 输送氢气的聚合物或橡胶管件应预防可能的过热，在温度达到比氢气输送管路材料的最低变形温度（HDT）还低 10°C 之前，控制系统应能切断氢气的供应；设计时根据安全及可靠性考虑采用适当的泄压装置或方法来保护零部件，防止过压引起损坏；

(4) 运输流体（如氢气）的非金属管材会在其内外表面积累静电荷，并且部分电荷可转移至管材两端连接的金属配件上，管材外表面或配件的放电有可能足以点燃环境中的易燃

气体。因此用于危险区域内的聚合物或橡胶材料应具有防止静电电荷累积的有效措施，如具有导电性；或通过测试证明，测试电压达到 1000V，末端电阻小于 $1\text{M}\Omega/\text{m}$ ，该非金属管材材料可减轻电荷积累现象，可选用该管材；或通过静电累积试验来检测正常和非正常工作条件下，管材材料上不会因为流体流过管材而产生引燃的静电荷。在不满足上述要求的情况下，设计时须将流体气速限定在特定值之内，使静电荷不会在这种非金属材料上产生累积；

(5) 硫化橡胶和热塑性橡胶部件应按 GB/T3512-2014 的规定进行热空气加速老化试验和耐热试验（老化时间不低于 96h），试验后性能仍满足发电系统的要求。

3.2.1.6 材料和元器件以及结构设计要求

材料和元器件以及结构设计应符合 GB3836.1-2010 中 II 类设备的防爆安全规定。发电系统内部的材料及元器件应满足以下要求：

(1) 发电系统使用过程中，内部导线和元器件能够承受最大电流的使用要求，同时承受发电系统正常运作状态下可能产生的任何温度；

(2) 在规定的允许温度下，发电系统内部的导线和元器件的机械强度不会降低，不会因为热膨胀而超过材料允许承受的应力，不会损坏邻近的绝缘部件；

(3) 内部导线的选用应符合 GB3836.4-2010 中 5.6 的规定；

(4) 内部导线及元器件的连接装置应符合 GB3836.4-2010 中 7.2 的规定，与金属部件接触的内部导线，应有机械保护或加以适当固定以防损坏。

3.2.1.7 接地要求

发电系统内部部件的导体外壳应同电平台连接，确保在氢气泄漏时，不会因静电引燃氢气。

CAN 总线支路距离控制符合规范，屏蔽单点接地，请保证在抗干扰能力最差的地方单点接地，屏蔽线接法避免采用拧股方式。

燃料电池系统内部高压零部件一般接地处理，这一方面是为了改善 EMC，一方面是为了满足安全需要。高压零部件接地需满足以下要求：

(1) 所有与高压部件接触的可导电部分必须接地；

(2) 系统接地点应有明显标识，接地点用铜螺母；所有接地点应保证导电性，不应有导电性差的漆及氧化物，防止接地不良；系统外壳、所有可触及的金属零部件与接地端子之间的电阻应不大于 0.1Ω ；

(3) 所有接地点锁紧螺母应保证一定的安装扭矩，接地线应尽可能地短；

(4) 高低压线束保持安全间距，屏蔽线需要按要求连接，屏蔽线需要最短。

3.2.1.8 燃料电池系统热安全

燃料电池系统散热元器件主要包含水冷散热器和风冷散热器，上述散热器应具有足够的散热面积，保证系统内部热源与热管理系统之间热传递满足设计需求。燃料电池系统设计时应考虑防止燃料电池电堆、空压机等高电压零部件过温而引发安全事故。

(1) 燃料电池系统内部使用的电机应设置温度传感器，并通过电机控制器实现温度检测功能。如果检测到电机温度过高，通过 CAN 通讯向燃料电池系统控制器输出电机温度报警或者电机温度过高信号，控制系统应限制电机功率或停止工作。温度传感器的设置位置及数量应能反应不同工况下最高温度和最低温度要求，同时应考虑温度传感器的精度、适用范围及响应时间；

(2) 燃料电池系统应能有效对燃料电池堆进行散热和降温，以确保燃料电池堆工作温度始终在正常使用范围内，以免温度过高影响燃料电池堆的使用寿命；

(3) 为保证特定区域使用的燃料电池系统低温启动性能，设计有加热元器件。在燃料电池系统内置加热部件进行热设计时，应具备相应的安全设计(如引入二次热熔保护机制)，当加热部件温度过高时，能够切断加热元器件电源；

(4) 对于热管理系统中的液冷流路，当系统可能发生泄漏甚至产生安全隐患时，热管理系统设计应考虑具有相应的检测手段，并发出报警信号；

(5) 针对燃料电池系统可能存在的着火风险，系统零部件应尽量选用阻燃等级较高或者不燃烧的材料，即使在热失控的极端条件下，系统内零部件至少不会加剧燃烧反应。

3.2.2 部件安装及防护

(1) 在燃料电池系统设计制造时，应充分考虑其组件、配件的安装稳定性，以便在预定的运行条件下使用不会发生翻倒、坠落或意外移动的风险。

(2) 所有燃料系统的部件和连接管线应安装牢固，并配有刚性支撑。如必要时，可使用防震支架，避免因汽车振动而导致损坏、泄漏等故障。

(3) 所有燃料电池系统的部件都要采取适当的保护措施，且不应放置在汽车的最外缘，压力释放装置 (PRD)、排气管道除外。可能排出或泄漏出氢气的出口应远离可能产生火花或高温的器件。

3.2.3 燃料电池系统安全测试

3.2.3.1 气体泄漏测试

燃料电池系统在进行该项测试时泄漏量不得超过规定限值。在进行该试验前，应按照氢系统、空气系统、冷却系统分类，确定不同系统中，进行该项试验的部件应能承受与燃料电池系统正常运行过程中相同的内部压力。氢系统、空气系统、冷却系统应作为独立试验段，分别加压。

应在试验段的入口处连接一个能够为气体介质提供试验压力的、合适的加压系统或稳压系统以及一个能够精确测量泄漏量的流量测量装置，流量测量装置应位于加压系统和试验段之间，应通过合适的方法对试验段出口进行密封。使所有功能部件处于开启位置，在试验段的所有部件上均保持所要求的测试压力。

气体介质应逐渐进入试验段以便试验段在大约 1min 内逐渐达到不低于下表中规定的压力值。该压力应保持至少 1min，或者更长时间，应记录在此时间段内流量测量装置显示的任何泄漏量。

表 3-1 泄漏量试验要求

危险	试验类型	系统设计条件	试验参数	通过/失败依据
易燃/空气 /冷却剂	气压	所有压力	1.1 倍设计压力	使用行业认可的检漏液无 气泡，不超过泄露率 L

3.2.3.2 气压强度测试

当采用惰性气体或空气进行该项测试时，处于测试中的燃料电池系统部件应不出现破裂、断裂、变性或者其他可见的物理损坏。

在进行该试验前，应按照氢系统、空气系统、冷却系统分类，确定不同系统中，进行该项试验的部件能承受与燃料电池系统正常运转过程中相同的内部压力。氢系统、空气系统、冷却系统应作为独立试验段，分别加压。必要时可通过便捷方法将被测试段其与燃料电池系统的其他部分隔开。

应在试验段的入口处连接一个能够为气体介质提供试验压力的、合适的加压系统或稳压系统。使所有功能部件处于开启位置，在试验段所有部件上均保持所要求的测试压力。气体介质应被逐渐加注到测试段，在大约 1min 内达到不低于表 3-2 中规定的统一表压。该压力至少保持 1min，或者更长时间，然后将压力降低至设计压力。应依据下表确定是否通过。

表 3-2 气压强度试验要求

危险	试验类型	系统设计条件	试验参数	通过/失败依据
易燃	气压	$\geq 13\text{kPa}$	1.3 倍设计压力	无破裂、断裂、变性或者其他物理损坏
		$13\text{kPa} > P > 3.5\text{kPa}$ (电堆为大于 5.5kPa 小于 13kPa)	17kPa	无破裂、断裂、变性或者其他物理损坏
		$\leq 3.5\text{kPa}$ (电堆为 5.5kPa)	5 倍设计压力 (电堆为 3 倍)	无破裂、断裂、变性或者其他物理损坏
空气	气压	$\geq 100\text{kPa}$	1.3 倍设计压力	无破裂、断裂、变性或者其他物理损坏
		$< 100\text{kPa}$	无要求	无要求
冷却液	气压	$\geq 1.1\text{MPa}$ 或者 $\geq 120^\circ\text{C}$	1.3 倍设计压力	无破裂、断裂、变性或者其他物理损坏
		$< 1.1\text{MPa}$ 和 $< 120^\circ\text{C}$	无要求	无要求

3.2.3.3 燃料饥饿测试

燃料电池系统应以标称功率和正常运行参数运行至稳定状态。为了引发燃料饥饿，将燃料流量减少到代表最坏情况的水平，该最坏情况由燃料电池系统制造商提供的风险评估确定。电压监测系统或其他安全系统应提供一个信号，用于在达到危险状态之前，将燃料电池系统转换到安全状态。

3.2.3.4 氧气/氧化剂饥饿测试

燃料电池系统应以标称功率和正常运行参数运行至稳定状态。为了引发氧气/氧化剂饥饿，将氧气/氧化剂流量减少到代表最坏情况的水平，该最坏情况由燃料电池系统制造商提供的风险评估确定。电压监测系统或其他安全系统应提供一个信号，用于在达到危险状态之前，将燃料电池系统转换到安全状态。

3.2.3.5 冷却缺失/受损测试

在制造商规定的最大允许功率输出及制造商规定的稳定条件下运行时，将冷却液流（如与氧化剂分开的话）立即停止，以模拟冷却系统出现缺失或受损等故障。

燃料电池系统应满足下列其中一种情况：

- (1) 在冷却液关闭后，燃料电池系统在制造商规定的允许时间内运行；
- (2) 在达到结构材料的使用温度极限之前，燃料电池系统因性能下降而关闭；
- (3) 燃料电池系统运行直到安全系统提供信号，使得燃料电池在达到危险状态之前，

将燃料电池系统转换到安全状态。

3.2.3.6 冷冻/解冻循环测试

该测试仅适用于存储温度或工作温度低于 0°C 的 PEMFC 燃料电池系统。

在以稳定方式正常运行后，应关闭燃料电池系统，然后将燃料电池系统冷冻在制造商指定的最低环境温度条件下。冷冻后，根据制造商的规格将其融化，直至达到最低 10°C。该冻结/解冻循环重复十次，之后，应重复进行泄漏测试。

3.2.3.7 电气过载测试

燃料电池发电系统应能够承受电气过载。在制造商允许输出电流高于额定电流，且能工作一段时间的情况下，燃料电池系统应先在额定电流下达到热稳定，然后将输出电流增加到制造商允许的数值并在制造商规定的时间内保持不变。该系统不应有起火、震动、破裂、断裂、永久变型或者其他物理损坏的危险。

若制造商不赞许较高的电流，则不应进行该测试。

3.2.4 燃料电池系统电气安全性

3.2.4.1 电路的电压等级

根据发电系统及其内部电路的工作电压 (U)，将电路分为不同等级，具体参考参考《电动汽车安全指南》第一章相关内容。

3.2.4.2 标识

(1) 电气设备

如燃料电池系统电压接近 B 级电压，则其附近应标示 B 级电压设备的标志 (如图 1-1 所示)。参照 GB2893-2008、GB2894-2008 和 GB/T5465.2-2008 的规定。

其他电气设备标识要求参考《电动汽车安全指南》第一章及第二章相关内容。

(2) B 级电压配线的识别

B 级电压电缆和线束外皮应由橙色加以区别，外壳里面或遮拦后面的也建议用橙色加以区别。B 级电压连接器可通过与之连接的线束来区分。

3.2.4.3 触电防护要求

通常情况下，燃料电池系统上易触及的导电部件不应存在带电风险。为防止意外接触带

电部件，应对燃料电池系统采用合适的结构和防护外壳，防止人员触电，包括：直接接触防护和间接接触防护。具体要求参考《电动汽车安全指南》第一章及第二章相关内容。

3.2.4.4 绝缘要求

燃料电池系统的绝缘设计应满足 GB/T18384-2015 或者企业要求。燃料电池系统及其内部电路的绝缘防护措施应符合以下要求：

(1) 对于 A 级电压的电路不要求提供绝缘防护；

(2) 对于任何 B 级电压电路的带电部件应采取绝缘措施，提供危险接触的防护，绝缘措施包括但不限于基本绝缘或遮挡/外壳或多种绝缘方式组合，无论采用何种方式都应达到 GB/T18384.3-2015 规定的要求。

(3) 依据 GB/T18384.3-2015 规定，在最大工作电压下，直流电路绝缘电阻应至少大于 $100\Omega/V$ ，交流电路应大于 $500\Omega/V$ 。如果直流和交流的 B 级电压电路可导电的连接在一起，则应满足绝缘电阻应大于 $500\Omega/V$ 的要求。

3.2.4.5 电气间隙与爬电距离

燃料电池系统内部的绝缘体应有足够的耐电压能力，进行耐电压试验不应发生绝缘击穿或电弧现象。

(1) 燃料电池系统高压电气间隙和爬电距离参考 GB/T16935.1-2008，燃料电池堆阳极为和阴极不受这些间隙和爬电的要求；

(2) 燃料电池系统设计中，可根据耐压等级、环境污染等级确定电气间隙；

(3) 燃料电池系统设计中，可根据环境污染等级、材料 CTI 值，工作电压、工作海拔高度等确定爬电距离；

(4) 当主电路与控制电路的额定绝缘电压不一致时，其电气间隙和爬电距离可分别按照其额定值选取。主电路或者控制电路导电部分之间具有不同额定值时，电气间隙与爬电距离应按照最高绝缘电压选取。

3.2.4.6 电气连接可靠性

(1) 燃料电池系统内部各回路电连接部分应具有有效的设计，建议采用螺纹胶锁死，以保证系统整个生命周期内保持连接阻抗的可靠性；

(2) 燃料电池系统内部各回路电连接部分的连接阻抗应具备明确的指标及检测方法，

以便在生产、维护时进行检测；

(3) 燃料电池系统内线束高低压连接端子与电线应连接牢固；

(4) 连接器需要具有一个锁紧装置以避免分离或接触不良，高压连接器还应具有高压互锁功能。

3.2.5 燃料电池系统安全监控要求

燃料电池系统的设计和制造应充分考虑正常或非正常使用过程中可能遇到的各种故障和/或事故的安全风险，采取相应的处理措施加以避免。并参照 GB/T 7826-2012 进行相应的风险评估及可靠性分析。

对于无法避免的安全风险，应提供安全提示标识和处理说明，以及声、光等警示及自动和/或手动处理措施。

控制系统的设计应具有监控燃料电池系统各个功能子系统运作状况的功能，并能防止因系统部件的单一故障而升级为危险情况的保护功能。

人工控制装置应有明确标识，且设计样式可防止意外调节与启动。

3.2.6 冲击、振动与碰撞

振动是结构件耐久性的考验，区别于传统车，燃料电池系统激励源主要来自汽车行驶过程中路面的不平整造成的，路面的激励频率大部分集中在低频端，燃料电池系统设计中应据此考虑燃料电池系统的整体固有频率。

燃料电池系统应具有一定的抗冲击振动的能力，保证正常使用、运输或储存过程中产生的冲击振动不会对系统各个部件产生损害。

(1) 系统设计时应分析碰撞过程中外壳防护箱体及其内部结构（燃料电池堆、高低压线束、辅助系统）产生的最大变形情况，并基于燃料电池堆优先保护的原则来判断冲击、振动与碰撞过程中的安全风险；

(2) 外壳防护箱体可根据空间要求，设计加强筋或波形板等加强结构，提高整体结构强度；

(3) 可结合车辆整车布置考虑具有吸能效果的结构设计，设计时应考虑响应材料的塑性要求；

(4) 考虑电气连接件的可靠性，避免造成电气部件电线脱落或碰线，避免因振动导致

的短路等现象；

(5) 提高供氢系统、热管理系统结构强度，增加防护设计，避免冲击、振动与碰撞过程中氢气管路系统损坏和氢气泄漏，避免冷却液泄漏。

3.2.7 电磁兼容

燃料电池系统设备应通过合理布置及屏蔽保护设计，在工作/非工作状态下时，耐受车载发射机标准发射功率场强度等级电磁辐射干扰时，不发生功能状态偏离及安全降级。应按照 GB/T33012.3-2016 对不同发射机工作频段进行试验验证。

燃料电池系统应能抗工作环境下电磁干扰，在预设的环境中确保电压、温度等信号采集，通信、电磁阀启闭等功能正常运行，并且在正常运行时，不会产生高于规定水平的电磁干扰。

燃料电池系统的高压线束应具备 EMC 屏蔽措施，其走向布置不应使得 EMC 辐射增强，信号采集控制线束应尽量与高压线束垂直，避免高压线束辐射串扰。高压线束屏蔽层应与高压部件可导电外壳有效连接。

4 燃料电池汽车操作、维护及基础设施

4.1 用户指南及手册

燃料电池汽车整车制造商应提供用户手册，指明汽车特定的操作、燃料和安全特性。至少包括安全操作程序，包含操作环境，汽车上储存、使用的燃料、冷却剂等物质的注意事项。

4.1.1 燃料电池车辆存放

(1) 氢燃料电池车辆气罐中如已加注氢气的，必须停放于露天场地，确保场地、通道通风条件良好。燃料电池车辆在满足整车密闭空间测试要求后，可停放于室内场地，室内停车场在最高处布置氢气泄漏探测系统和联动排气系统。

(2) 停车场地需确保通风条件良好，车辆之间的通道畅通，不得堆放其他杂物。停车场地应远离加油站、加气站、热源、潮湿、可燃设施/可燃物质堆放区域、有腐蚀性气体以及灰尘较大的地方。同时还应避免其他车辆或移动的物体对车辆造成撞击或挤压，防止意外事件的二次影响。

(3) 专用停车场应排水、通风良好，场地极端积水高度不得高于车辆涉水高度。

(4) 存放期间车辆加氢口必须盖上帽盖，防止雨水及灰尘的侵入，同时必须确保加氢口舱门处于锁闭状态。

(5) 对于日常运营状态下的氢燃料电池车辆，不可避免的需要进入地下停车场或则其他相对环境封闭的通用性室内场所。建议车辆操作人员在进入这些场所之前关闭燃料电池系统，以纯电的模式驶入，待离开以上场所之后再重新打开燃料系统的混动模式。

4.1.2 燃料电池汽车运营中的日常安全检查

(1) 目测高压氢瓶表面是否有损伤。在管路供氢状态下使用肥皂水或检漏液检查氢系统的气密性，主要包括加注接口、加注口压力表、主电磁阀、减压阀、安全阀、放空阀及各接头等，同时检查连接管路的完好性。

(2) 目测氢系统框架是否有裂缝、变形等异常现象。

4.1.3 燃料电池车辆加氢安全注意事项

(1) 燃料电池车用氢气必须符合国家标准 GB/T 37244-2018《质子交换膜燃料电池汽车用燃料 氢气》要求。

(2) 车辆到达加氢车位后应关闭燃料电池系统、拉紧手刹，夜间应关闭车灯。

(3) 司机下车打开加氢口舱门，然后至安全区域等待。

(4) 由加氢站具备充装资质的专业加氢人员对车辆加氢。

(5) 加氢结束后司机应确认加氢枪和静电接地线已拔下，加氢口压力表读数在正常范围内，加氢口防尘罩已归位，并将加氢口舱门锁好。

(6) 司机上车后，先查看仪表盘气瓶压力和温度数据是否正常，有无故障报警，确认无故障后启动车辆，驶离加氢站。

4.1.4 燃料电池车辆操作中的其他一般注意事项

(1) 燃料电池车辆应严格按照整车产品使用说明书操作。

(2) 车内严禁使用明火，车内不放置易燃、易爆物品。

(3) 检修操作应在燃料电池系统完全停机并确认高压端无电压后再进行。

(4) 加完氢气后，请盖好加氢口的防尘帽，避免进入杂物。

(5) 车辆动力系统上电状态不能加氢。

(6) 氢气管路安装和检修完成后，应对氢气管路进行吹扫，避免有异物进入燃料电池系统。

4.2 燃料电池车辆紧急情况处理

4.2.1 氢气意外泄漏处理

4.2.1.1 燃料电池车辆可能发生氢气泄漏的若干预兆

(1) 氢气管路松动；

(2) 压力表的压力读数持续下降；

(3) 氢气泄漏报警；

(4) 氢系统低压报警；

(5) 管路安全阀泄压；

(6) 氢瓶 PRD 泄压；

(7) 氢气管路变形；

(8) 阀门变形；

(9) 氢瓶表面出现损伤;

(10) 氢瓶或阀门出现位移或错位。

4.2.1.2 氢气泄漏应急处理措施

当发现氢气泄漏时,应第一时间疏散车内人员,关闭氢阀开关、车辆钥匙,关闭电源翘板开关,打开所有车窗进行通风,设立警戒标识,并通知整车厂售后人员及时到场。

氢气发生大量泄漏或积聚时,首先应当拨打报警电话,并同时采取以下措施:及时切断气源,并迅速撤离泄漏污染区人员至上风处;对污染泄漏区域进行通风,对已泄漏的氢气进行稀释,若不能及时切断气源时,应采用水雾进行稀释,防止氢气积聚形成爆炸性气体混合物;高浓度氢气会使人窒息,应及时将窒息人员移至良好通风处,进行人工呼吸,并迅速就医。

当氢气发生泄漏并着火时应采取以下措施:及时切断气源;若不能立即切断气源,需用大量水强制冷却着火设备;采取措施,防止火灾扩大,如采用大量消防水雾喷射其它引燃物质和相邻设备;氢火焰肉眼不易察觉,消防人员应佩戴自给式呼吸器,穿静电服装进入现场,注意防止外露皮肤烧伤。

4.2.1.3 燃料电池车辆氢气泄露时的其他注意事项

氢系统的应急处置应由经过专门培训的维修人员实施,维修人员应着装防静电服、防静电鞋,并去除身上的静电。

氢气属于易燃易爆的气体,在应急处置现场,维修人员应时刻注意不允许出现火花、高温热源、明火等易引燃氢气的操作,不允许使用电动工具、电焊、非防爆工具等。

严禁私自拆卸、敲击氢气管道和氢瓶,严禁带压操作。

4.2.2 车辆意外燃烧处理

燃料电池汽车任何部位起火时,首先将钥匙开关打到 OFF 挡,疏散乘客,根据现场情况拨打报警电话。

消防人员到场后,向消防人员指明氢气瓶、燃料电池系统、动力电池等重大危险源的位置,并介绍气瓶数量及瓶内氢气剩余量等信息。

保证人身安全的情况下,有条件的进行如下操作:

(1) 如果车辆线束冒烟起火,救援人员可佩戴简单的个人防护用品(如过滤式消防自

救呼吸器、防火手套)对起火点用干粉灭火器、二氧化碳灭火器或水基灭火剂进行喷射,优先使用水基灭火剂进行灭火。

(2) 如果动力电池箱起火,及时联系消防部门在距离起火箱>5米位置用高压水枪进行喷射;同时,需对氢气瓶进行喷射,避免高温导致瓶口和瓶尾的压力释放装置(PRD)开启,造成氢气大量排出。当发生大量电池起火或电池系统火灾时,应尽快建立至少三支消防水枪阵地,向起火电池箱持续喷射大量的、充足的水。火灾扑灭后,应向燃烧或被火烘烤过的电池系统继续喷水降温,防止复燃。其他与动力电池箱相关安全措施可参考《电动汽车安全指南》第三章。

(3) 如果在充电过程中出现火灾,务必第一时间停止充电,再执行下一步灭火动作。

(4) 如果人员不慎吸入浓烟,请尽快转移并就医。

(5) 条件允许的情况下,由专业人员操作,断开手动维护开关。

4.3 燃料电池车辆的检修与维护

4.3.1 燃料电池车辆检修注意事项

(1) 非氢系统检查维修:如果不涉及动火的,检查维修工作只需要确保周围空气流通性良好。如在室内维修的,确保厂房内部净空高度不低于8米。如果涉及动火的,必须将本车内氢气泄放完毕或将氢系统完整拆卸下来后方可动火。

(2) 氢系统动火检修前,保证系统内部和动火区域的氢气体积分数在安全范围以内。检修或检验设施应完好可靠,个人防护用品穿戴符合要求。防止明火和其它激发能源进入禁火区域,禁止使用电炉、电钻、火炉、喷灯等一切产生明火、高温的工具与热物体。动火检修应选用铜质工具。

(3) 所有动火检测,必须确保明火周围3米范围内没有其他无关的氢燃料系统。

4.3.2 燃料电池车辆维护安全事项

(1) 对氢系统管阀件进行维护作业时,选择通风良好的地点,将管路内的氢气排空再进行零部件的维护。

(2) 操作人员在放氢气作业前,应设置警示标示或隔离带,要触摸静电释放器,将身体静电导除。

(3) 放气操作人员应经过培训、考试合格后上岗操作。

(4) 放气现场安全区域内禁止携带手机、打火机、非防爆对讲机、火柴等火源火种和易产生静电的物品入内。

(5) 放气现场安全区域 30 米内禁止使用明火作业。

(6) 放气现场严禁穿易产生静电的服装及带铁钉的鞋进入。

(7) 放气现场安全区域内使用的工具应为防爆工具。

(8) 放气作业区域，仅用于放气作业，其他作业活动严禁在此区域内进行。

(9) 放气过程中，应关闭车辆的电源及门窗，同时打开车厢内顶部所有天窗。

(10) 放气过程中，除指定的放气操作人员外，其他人员一律不得入内。

(11) 车辆放完氢气后，需对车辆四周、舱体和车厢内部进行检测，确保无余气后，方可驶离。

(12) 雷雨天气禁止放气作业。

(13) 氢燃料电池车辆如需进行动火等整改工作时，需将氢气放空后方可作业。

4.4 氢气加注设施的运行与管理

4.4.1 加氢设施运行操作与维护

加氢站竣工后，需针对操作人员与设备分别进行培训与定检，并建立安全管理制度、风险管理体系和事故应急预案，维持加氢站设施的稳定性；加氢站运营主体应规范其运行信息的记录，对运行维护、检验、紧急事故及人员资质等数据进行实时记录与定期保存；在加氢站储氢罐和氧气压缩机间的安全距离内，禁止停放车辆、堆放物品和携带火种。

操作人员培训与要求方面：

(1) 需进行员工培训，含证照培训、三级教育培训、日常培训等。

(2) 配备好护目镜、安全帽、工作服和安全鞋等安全防护装备。

(3) 整个操作过程的安全工作由现场负责人监督管理，严格执行带气工作流程。

(4) 操作人员及现场其他工作人员严禁带火种入场，穿防静电服装进入，不得使用可能会产生静电火花的钢制操作工具等。

(5) 工作人员负责现场警戒（现场警戒标志等）巡回检查，严禁杂人入内，进入作业现场的所有人员必须关闭手机，现场严禁明火及产生静电火花。

(6) 操作期间采访人员严禁使用闪光灯、新闻灯、与调试无关的人员谢绝入场。

(7) 操作人员熟练使用消防器材和消防设施，懂得安全知识。

加氢站定检与维护方面：

(1) 消防器材必须严格按照设计要求的数量和规格进行配备并放置到规定地点，定时检查灭火器是否符合使用要求。

(2) 建立隐患排查流程（综合性、季节性、节假日、日常、专业性检查）。

(3) 建立危险源辨识、风险评价和控制管理，建立应急管理（应急预案、应急演练、演练评估）。

(4) 建立事故（事件）调查和报告管理流程。

(5) 已投产加氢站现场不得进行火种作业，特殊情况必须动火时，经安全主管部门办理有关手续后，方可进行。

(6) 所有操作机械设备部件，必须符合防爆要求。

(7) 对所有密封点进行定期检查，投产区域不漏油、不漏水。

(8) 应定期对各种阀门进行检查，确保其正常功能。

(9) 避免在封闭区域连续排放氮气，以免造成窒息危险。在吹扫过程中采用间断排放。

(10) 雷雨、大雨天气停止操作，小雨天气如需进行作业，应对连接接口处及用电设施做好防雨措施。

4.4.2 加氢站质量管理体系

建议加氢站需满足 ISO 9001:2015 以及 IATF16949:2016 质量管理体系中的规定。两种标准的搭配运用了过程方法，再加上计划-执行-检查-处理循环(PDCA)和基于风险的思维，如图 4-1 所示，使其质量管理体系与其他管理体系标准的要求保持一致或整合，有利于加氢站运营方吸引顾客、开发新产品和服务、减少浪费或提高生产效率的一系列情形。

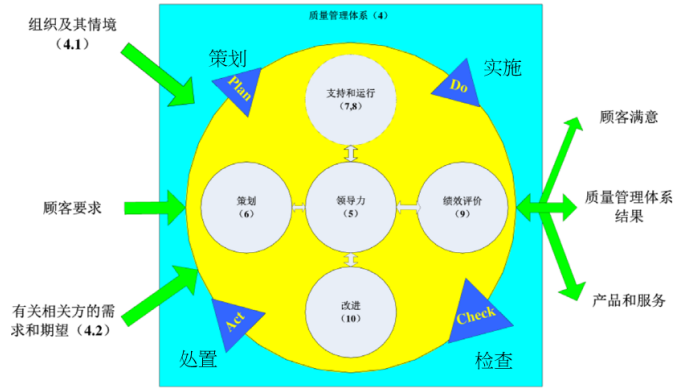


图 4-1 计划-执行-检查-处理循环(PDCA)管理方法运作模式

4.4.3 计量收费系统

为了提高个加氢站的运行效率，建议运营商建立中央管理平台，并通过物联网收集各加氢站的数据资料分析，且每个加氢站拥有各自的管理子平台，收集各加氢枪与车辆等信息，获得精确的加氢时间、加氢重量、金额等信息。

4.4.4 项目建设

4.4.4.1 加氢站建设

(1) 氢气运输方式：加氢站可采用高压氢气长管拖车、氢瓶集装格瓶组运输、管道输送，或自备制氢系统等方式供氢。

(2) 加氢站类型：加氢站可与天然气加气站或加油站联合建站，相关规范须符合 GB 50516-2010《加氢站技术规范》、GB/T 34584-2017《加氢站安全技术规范》，上述标准同时也规范了氢能车辆加氢站的氢气输送、站内制氢、氢气存储、压缩、加注以及安全与消防等方面的安全技术要求。

(3) 若为天然气加气站或加油站联合建站，尚需分别达到 GB 50028-2016《城镇燃气设计规范》以及 GB 50156-2012《汽车加油加气站设计与施工规范》的有关规定。

(4) 配有自备制氢系统、移动式加氢设施时，需符合 GB 50177-2005《氢气站设计规范》、GB/T 19774-2005《水电解制氢系统的技术要求》及 GB/T 19773-2005《变压吸附提纯氢系统技术要求》的有关规定。

(5) 防静电措施：加氢站需特别注意防止静电起火的发生，因此涉及到氢气的系统、控制电路与元件，站内都需要设置静电消除器以及规定有关人员穿防静电服，且相关措施须符合 SY/T354-2017《本安型人体静电消除器安全规范》与 GB 3836.4-2010《爆炸性环境 第

4 部份：由本质安全型“i”保护的设备的规范。

(6) 加氢站等级划分，如下表。

表 4-1 加氢站等级划分

等级划分	储氢罐容量	
	总容量 kg	单罐容量 kg
一级	4000-8000	≤2000
二级	1000-4000	≤1000
三级	≤1000	≤500

4.4.4.2 加氢基础设施设计与安全要求

加氢站基础设施设计与安全要求需注意下列事项：

- (1) 加氢站及各类加氢合建站的火灾危险类别应为甲类。
- (2) 加氢站及各类加氢合建站内有爆炸危险房间或区域的爆炸危险等级应为 1 区或 2 区。
- (3) 加氢站及各类合建站内的建筑物耐火等级不应低于二级。
- (4) 加氢站、加氢加气合建站、加氢加油合建站的等级划分应符合 GB 50516-2012 的有关规定。
- (5) 加氢站与充电站合建时，充电工艺设施的设计应遵循 GB 50966-2014 和 GB/T 29781-2013 的有关规定。
- (6) 采用强制通风时，通风设备的通风能力在工艺设备工作期间应大于 12 次/h，工艺设备非工作期间应大于 5 次/h。通风设备技术规格和设计应符合 GB50058-2014《爆炸危险环境电力装置设计规范》有关规定。
- (7) 采用自然通风时，通风口总面积不应小于 $300\text{cm}^2/\text{m}^2$ （地面），换气次数不得低于 5 次/h，且应靠近氢气聚集的部位设置。
- (8) 事故排风换气应使用额外的强制通风装置，并且次数不得少于 15 次/h。
- (9) 当发生故障或意外事故时，燃料系统需要通风排气，气体流动方向、方位应远离人、电与点火源。
- (10) 加氢站作业区内不得种植树木、油性植物和易造成氧气聚集、易燃烧的各种植物。
- (11) 加氢站内不得设置经营性的餐饮、住宿及娱乐设施。严禁设置洗车、修车等作业

场所。加氢站的站房可与辅助服务区合建，但站房与辅助服务设施之间应设置无门窗洞口且防水极限不低于 3h 的实体墙。

(12) 有爆炸危险区域的等级定义应符合现行国家标准 GB50058-2014《爆炸危险环境电力装置设计规范》的有关规定。

(13) 加氢机爆炸危险区域的划分，应符合下列规定：加氢机内部空间为 1 区，以加氢机外轮廓线为界面，4.5m 为半径的地面区域底和以加氢机顶部上为 4.5m 为顶面的圆台形空间 2 区，如图 4-2。

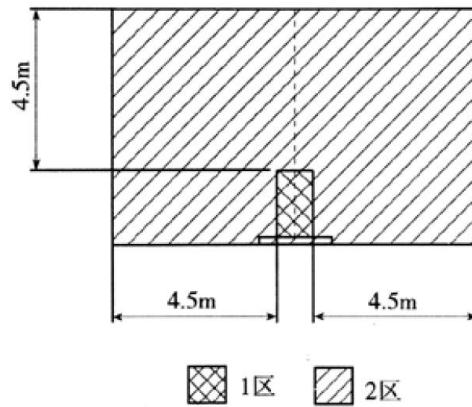


图 4-2 加氢机爆炸危险区域划分

(14) 加氢站需要有遮篷，且遮篷为由内而外斜坡向上避免氢气累积；设备本身为 1 区，以设备外轮廓线为界面，4.5m 为半径的地面区域、顶部空间为 2 区。

(15) 设备的放空管应集中置。从氢气放空管管口计算，半径为 4.5m 的空间和顶部以上 7.5m 的空间区域为 2 区，如图 4-3。

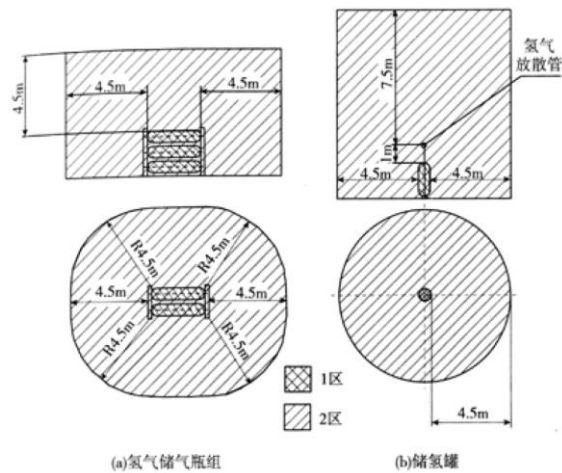


图 4-3 室外或罩棚内的储氢罐或氢气储气瓶组爆炸危险区域划分

加氢站的氢气工艺设施与站外建筑物、构筑物的防火距离，不应小于下表规定。

表 4-1 加氢站的氢气工艺设施与站外建筑物、构筑物的防火距离(m)

项目名称		储氢罐			氢压缩机、 加氢机	放空管口
		一级	二级	三级		
重要公共建筑		50	50	50	50	50
明火或散发火花地点		40	35	30	20	30
民用建筑物保 护类别	一类保护物	35	30	25	20	25
	二类保护物	30	25	20	14	25
	三类保护物	30	25	20	12	25
生产厂房、库房 耐火等级	一、二级	25	20	15	12	25
	三级	30	25	20	14	
	四级	35	30	25	16	
甲类物品仓库，甲、乙、丙类液体 储罐，可燃材料堆场		35	30	25	18	25
室外变配电站		35	30	25	18	30
铁路		25	25	25	22	40
城市道路	快速路、主干路	15	15	15	6	15
	次干路、支路	10	10	10	5	10
架空通信线	国家一、二级	不得跨越，且不得小于杆高 1 倍				
	一般					
架空电力线路	>380V	不得跨越，且不得小于杆高 1.5 倍				

此外，若含自备制氢系统、移动式加氢设施时，应符合以下要求：

(1) 制氢房环境和建筑安全：建筑物间距应符合 GB 50177-2005《氢气站设计规范》的规定。制氢室结构设计和安装要求应符合 GB50016-2014《建筑设计防火规范》要求，制氢室内安装制氢主机、冷却用水泵和水箱、加电解液用水泵和水箱，非防爆电机水泵等不准安装在制氢室内。

(2) 制氢系统供电安全：水电解制氢室的供电装置必须符合 GB50058-2014《爆炸危险环境电力装置设计规范》、GB 50254-2014《电气装置安装工程施工及验收规范》和 GB 50169-2016《电气装置安装工程接地装置施工及验收规范》的规定，制氢间及氢气储罐区域内应被划分为爆炸性气体环境危险区域 1 区，制氢间门窗边沿以外、氢气罐外壁以外半径 4.5m 的地面、空间，以及氢气排放口周围半径 4.5m 的空间和顶部 7.5m 的区域为 2 区。

(3) 制氢系统防雷设施安全：水电解制氢室及设备必须安装防雷装置，为防止水电解制氢设备在生产过程中产生静电必须安装接地地网，保证设备良好接地。接地装置和防雷设施必须符合 GB50169-2016《电气装置安装工程接地装置施工及验收规范》和 GB50057-2010

《建筑物防雷设计规范》的规定。

(4) 氢气检测及安全响应系统：制氢系统中有火灾和爆炸危险的区域内(制氢间及氢气储罐)需设置可燃气体(氢气)检测报警仪，符合 GB 50493-2009《石油化工可燃气体和有毒气体检测报警设计规范》中的相关要求。

(5) 氢气长管拖车停车位与站内建筑物、构筑物的防火距离应按 GB 50516-2010《加氢站技术规范》中氢气储罐的防火距离确定。

4.4.4.3 加氢站验收与安全评价

施工单位按合同规定范围内的工程全部完成后，应及时进行工程竣工验收。工程竣工验收，应由建设单位负责，组织施工、设计、监理等单位共同进行，合格后即应办理竣工验收手续。工程竣工验收时，由施工单位提交的竣工验收文件是工程竣工验收的依据和工程质量“终身制”的依据，必要时应进行抽查检测或试验。施工单位应提交下列文件：

(1) 综合部份：竣工技术文件说明，开工报告，工程竣工证书，图纸会审记录、设计变更清单及其相应签证文件，材料和设备质量证明文件及其复验报告。

(2) 建筑工程：工程定位测量记录，地基验槽记录，钢筋检验记录，混凝土工程施工记录，混凝土/砂浆试件试验报告，设备基础允许偏差项目检验记录，设备基础沉降记录，钢结构安装记录，钢结构防火层施工记录，防水工程试水记录，土方土料及填土压实试验记录，合格焊工登记表，隐蔽工程记录，防腐工程施工检查记录。

(3) 合格焊工登记表，隐蔽工程记录，设备开箱检查记录，静置设备安装记录，设备清理、检查、吹扫、置换、封存记录，设备安装记录，设备单机运行记录，阀门试压记录，安全阀调整试验记录，管道系统安装检查记录，管道系统试验记录，管道系统吹扫/置换记录，设备、管道系统防静电接地记录，电缆敷设和绝缘检查记录，报警系统安装检查记录，接地体、接地电阻、防雷接地安装测定记录，电气照明安装检查记录，防爆电气设备安装检查记录，仪表调试及其系统试验记录。

(4) 竣工图。

(5) 观感检查记录表。

4.4.5 氢气系统的监控

加氢站应建立中央监控和数据采集系统，且应可连接各加氢站的信息并向客户开放有关数据，结合大数据收集、建立优化管理体系以及客户端软件运用，提升加氢站的效率。数据采集与数据上传至数据分析资料库，针对加氢站的系统监控数据包括：

(1) 压力监控，分别检测管道与储氢瓶灌是否超压，以及判断储氢瓶罐的储氢量。

-
- (2) 氢气流速监控。
 - (3) 管道与储氢瓶罐的温度监控。
 - (4) 加氢机的加注次数、加氢量与金额的监控与分析。
 - (5) 车辆上储氢瓶的加注次数、加氢量等信息可回馈至加氢站管理中心。
 - (6) 实时传递安全信息，及时反应，降低安全风险。
 - (7) 加氢站及各类加氢合建站进出口、氢气储存区、储气区、氢气加注区、加油加气区、充电区、主控室及总电力配送室应设不间断视频监控，并把监控视频上传数据采集系统，做好数据备份。
 - (8) 加氢站及各类加氢合建站周围宜设置周围报警装置，报警信号应纳入监控系统。
 - (9) 加氢站及各类加氢合建站所有的报警信号及其处理结果都应记入系统数据库中。
 - (10) 加氢站及各类加氢合建站监控与数据采集系统所有的核心单元应设有不间断备用电源，该备用电源可以在断电后 60min 内保持供电。
 - (11) 通过结合客户端软件应用，应可实时提供客户加氢站加氢情况，减少加氢等待时间、自动计算距离加氢站路程及时间，并适时提醒客户。

主要参考文献

- [1] GB/T 24549-2009 《燃料电池电动汽车 安全要求》
- [2] GB 4962-2008 《氢气使用安全技术规程》
- [3] GB/T 26990-2011 《燃料电池电动汽车 车载氢系统技术条件》
- [4] GB/T 29126-2012 《燃料电池电动汽车 车载氢系统试验方法》
- [5] GB/T 35544-2017 《车用压缩氢气铝内胆碳纤维全缠绕气瓶》
- [6] TSG R0006-2014 《气瓶安全技术监察规程》
- [7] TSG R0009-2009 《车用气瓶安全技术监察规程》
- [8] GB/T 26779-2011 《燃料电池电动汽车加氢口》
- [9] QC/T 727 《汽车、摩托车用仪表》
- [10] QC/T 824-2009 《汽车用转速传感器》
- [11] GB 50516-2010 《加氢站技术规范》
- [12] GB/T 34584-2017 《加氢站安全技术规范》
- [13] GB/T 31138-2014 《汽车用压缩氢气加气机》
- [14] GB/T 37244-2018 《质子交换膜燃料电池汽车用燃料氢气》
- [15] SAE J2719-2015 《Hydrogen Fuel Quality for Fuel Cell Vehicles》
- [16] SAE J2601-2010 《Fueling Protocols for Light Duty Gaseous Hydrogen Surface Vehicles》
- [17] SAE J2799-2014 《Hydrogen Surface Vehicle to Station Communications Hardware and Software》
- [18] GB/T 34590.2-2017 《道路车辆 功能安全 第2部分:功能安全管理》
- [19] GB/T 34590.4-2017 《道路车辆 功能安全 第4部分:产品开发:系统层面》
- [20] GB/T 34590.5-2017 《道路车辆 功能安全 第5部分:产品开发:硬件层面》
- [21] QC/T 413-2002 《汽车电气设备基本技术条件》
- [22] GB/T 28046.2-2011 《道路车辆 电气及电子设备的环境条件和试验 第2部分:电气负

荷》

- [23] GB/T 28046.3-2011 《道路车辆 电气及电子设备的环境条件和试验 第 3 部分:机械负荷》
- [24] GB 8624-2012 《建筑材料及制品燃烧性能分级》
- [25] GB/T 34590.6-2017 《道路车辆 功能安全 第 6 部分:产品开发:软件层面》
- [26] GB 14023-2011 《车辆、船和内燃机 无线电骚扰特性 用于保护车外接收机的限值和测量方法》
- [27] GB/T 18387-2017 《电动车辆的电磁场发射强度的限值和测量方法》
- [28] GB/T 34660-2017 《道路车辆 电磁兼容性要求和试验方法》
- [29] GB/T 18655-2018 《车辆、船和内燃机 无线电骚扰特性 用于保护车载接收机的限值和测量方法》
- [30] GB/T 21437.2-2008 《道路车辆 由传导和耦合引起的电骚扰 第 2 部分:沿电源线的电瞬态传导》
- [31] GB/T 33014.2-2016 《道路车辆 电气/电子部件对窄带辐射电磁能的抗扰性试验方法 第 2 部分:电波暗室法》
- [32] GB/T 33014.4-2016 《道路车辆 电气/电子部件对窄带辐射电磁能的抗扰性试验方法 第 4 部分:大电流注入(BCI)法》
- [33] GB/T 21437.3-2012 《道路车辆 由传导和耦合引起的电骚扰 第 3 部分:除电源线外的导线通过容性和感性耦合的电瞬态发射》
- [34] GB/T 19951-2005 《道路车辆 静电放电产生的电骚扰试验方法》
- [35] UN R10 《关于批准车辆电磁兼容性的统一规定》(第 5 版)
- [36] GB/T 37130-2018 《车辆电磁场相对于人体暴露的测量方法》
- [37] GB 11551-2014 《汽车正面碰撞的乘员保护》
- [38] GB 20071-2006 《汽车侧面碰撞的乘员保护》
- [39] GB/T 31498-2015 《电动汽车碰撞后安全要求》
- [40] GB 17578-2013 《客车上部结构强度要求及试验方法》

-
- [41] GB/T 20072-2006 《乘用车后碰撞燃油系统安全要求》
- [42] GB 2893-2008 《安全色》
- [43] GB 2894-2008 《安全标志及其使用导则》
- [44] GB/T 5465.2-2008 《电气设备用图形符号 第2部分:图形符号》
- [45] GB/T 17676-1999 《天然气汽车和液化石油气汽车标志》
- [46] GB 14536.19-2017 《家用和类似用途电自动控制器 电动燃气阀的特殊要求,包括机械要求》
- [47] GB/T 34872-2017 《质子交换膜燃料电池供氢系统技术要求》
- [48] GB/T 18384.3-2015 《电动汽车 安全要求 第3部分:人员触电防护》
- [49] GB/T 18384.1-2015 《电动汽车 安全要求 第1部分:车载可充电储能系统(REESS)》
- [50] GB/T 20042.2-2008 《质子交换膜燃料电池 电池堆通用技术条件》
- [51] IEC 61779-6 《可燃性气体的检测和测量用电气设备 第6部分:可燃性气体检测和测量设备的选择、安装、使用和维护导则》
- [52] GB/T 15329.1-2003 《橡胶软管及软管组合件 织物增强液压型 第1部分:油基流体用》
- [53] GB/T 20801.2-2006 《压力管道规范 工业管道 第2部分:材料》
- [54] GB/T 20972.1-2007 《石油天然气工业 油气开采中用于含硫化氢环境的材料 第1部分:选择抗裂纹材料的一般原则》
- [55] HB 5067-2005 《镀覆工艺氢脆试验》
- [56] ISO 16528-2007 《锅炉和压力容器》
- [57] GB/T 3512-2014 《硫化橡胶或热塑性橡胶 热空气加速老化和耐热试验》
- [58] GB 3836.1-2010 《爆炸性环境 第1部分:设备 通用要求》
- [59] GB/T 18384-2015 《电动汽车 安全要求》
- [60] GB/T 16935.1-2008 《低压系统内设备的绝缘配合 第1部分:原理、要求和试验》
- [61] GB/T 7826-2012 《系统可靠性分析技术 失效模式和影响分析(FMFA)程序》
- [62] GB/T 33012.3-2016 《道路车辆 车辆对窄带辐射电磁能的抗扰性试验方法 第3部分:车

载发射机模拟法》

- [63] GB/T 37244-2018 《质子交换膜燃料电池汽车用燃料 氢气》
- [64] ISO 9001:2015 《质量管理体系-要求》
- [65] IATF 16949:2016 《汽车质量管理体系标准》
- [66] GB 50516-2010 《加氢站技术规范》
- [67] GB/T 34584-2017 《加氢站安全技术规范》
- [68] GB 50028-2016 《城镇燃气设计规范》
- [69] GB 50156-2012 《汽车加油加气站设计与施工规范》
- [70] GB 50177-2005 《氢气站设计规范》
- [71] GB/T 19774-2005 《水电解制氢系统的技术要求》
- [72] GB/T 19773-2005 《变压吸附提纯氢系统技术要求》
- [73] SY/T 354-2017 《本安型人体静电消除器安全规范》
- [74] GB 3836.4-2010 《爆炸性环境 第4部份：由本质安全型“i”保护的设备》
- [75] GB 50966-2014 《电动汽车充电站设计规范》
- [76] GB/T 29781-2013 《电动汽车充电站通用要求》
- [77] GB 50058-2014 《爆炸危险环境电力装置设计规范》
- [78] GB 50016-2014 《建筑设计防火规范》
- [79] GB 50058-2014 《爆炸危险环境电力装置设计规范》
- [80] GB 50254-2014 《电气装置安装工程施工及验收规范》
- [81] GB 50169-2016 《电气装置安装工程接地装置施工及验收规范》
- [82] GB 50057-2010 《建筑物防雷设计规范》
- [83] GB 50493-2009 《石油化工可燃气体和有毒气体检测报警设计规范》



中国汽车动力电池产业创新联盟
燃料电池分会