

燃料电池汽车系统安全防控分析

我国燃料电池客车已经完成商业示范运营，各种性能指标已基本达到运营要求，开始向大规模产业化迈进。然而，一种新的能源系统要得到推广和应用，其安全性是应该首先被关注的。

氢气易挥发、易燃、易爆及氢脆等特性，使得氢气在使用过程中存在一定的安全隐患。另外，由于对氢气使用的经验不够丰富，驾驶员在使用氢燃料电池汽车时，心理上也有着较大的疑虑。

因此，本文对氢能安全及在燃料电池汽车上采取的安全措施进行了分析介绍，使人们对燃料电池汽车的安全性有更深入的了解和认识。

1 氢能的安全性

任何能源都有一定的安全性问题，只要在使用过程中，根据其基本特性，通过科学设计，合理使用，就会避免或者降低其危害，为人类的发展提供能量。

氢能作为一种清洁能源，具有易燃、易爆及氢脆等安全性问题。但这些安全危害的出现都是在一定环境条件下产生的，只要在使用过程中控制必要条件，就可避免氢气的危害。

例如：氢气爆炸极限是体积密度达到4.0%~75%，即氢气在空气中的体积浓度在4.0%~75%之间时，遇火源就会爆炸，而当氢气浓度小于4.0%或大于75%时，即使遇到火源，也不会爆炸。

通常情况下，氢的密度仅为空气的7%，与汽油、丙烷和天然气相比，具有更大的浮力、扩散性和快速挥发性。空气中很难聚集高浓度的氢，如果发生泄漏，氢气会迅速扩散，特别是在开放环境中，很容易快速逃逸，而不像汽油挥发后滞留在空气中不易疏散。

美国迈阿密大学的Swain博士做过一个著名的试验。两辆汽车分别用氢气和汽油作燃料，然后进行泄漏点火试验。

点火3秒后，高压氢气产生的火焰直喷上方，汽油则从汽车的下部着火；

到1分钟时，用氢气作燃料的汽车只有漏出的氢气在燃烧，汽车没有大问题，而汽油车则早已成为大火球，完全烧光。

所以，氢气易挥发的性质，与普通汽油车相比，有利于汽车的安全。

综上，只要合理预防控制氢气的不利安全因素，就会避免产生安全危害。氢工业长期以来的安全运行以及氢能在航空航天等领域的广泛应用，都足以证明这一点。

2 燃料电池汽车氢系统安全性

国内外对燃料电池汽车制定了很多标准和规范，其中65%以上的内容是针对安全性的规定。

燃料电池汽车的氢安全性，主要是指燃料电池汽车运行过程中车载氢系统的安全，主要包括高压供氢系统、燃料电池发电系统的安全性等。

目前，为了保证车载氢系统的安全，各企业主要从材料选择、氢泄露监测、静电防护、防爆、阻燃等方面进行预防和控制。

2.1 材料安全防护

氢气与金属材料接触会产生氢脆效应，氢脆是溶于金属中的高压氢在局部浓度达到饱和后引起金属塑性下降、诱发裂纹甚至开裂的现象。

氢在常温常压下并不会对钢产生明显的腐蚀，但在高温高压下，会产生氢脆，使其强度大大降低，导致失效。如果

与氢接触的材料选择不当，就会导致氢泄漏和燃料管道失效。

目前，高压储氢瓶选择铝合金或合成材料来避免氢脆的产生。

例如，丰田Mirai储氢瓶采用高强度的混合材料，由三层结构组成，最内层材料是高强度聚合物，中层是强化碳纤维和高强度聚合物的混合材料，外层是玻璃纤维和高强度聚合物的混合材料。

而其他厂家也有类似的设计，例如昆腾和丁泰克现在出售的塑料内胆和铝内胆碳纤维缠绕的高压储氢瓶具有重量轻、单位重量储氢密度高等优点，与钢制容器相比很好地解决了氢脆问题。国内的燃料电池汽车高压氢瓶主要采用铝内胆加碳纤维缠绕的型气瓶。

各种燃料管道以及阀件也都采用适用于氢介质的材料，如抗氢脆的不锈钢、铝合金材料或聚合物，并且储瓶、管道及阀件所能承受的压力留有足够的安全余量，储氢瓶的安装及高压氢气连接管材质均应符合相关国家规范的安全要求。这些材料的使用，均可避免氢脆的发生。

2.2 元器件防

为了防止电路中产生电火花点燃氢气而产生燃烧或爆炸事故，燃料电池汽车的电气元件、管路、阀体均采用相应的防爆、防静电、阻燃、防水、防盐雾材料。例如：

燃料电池汽车的氢检测传感器均选用防爆型，而不用触点式传感器，因为触点式传感器在氢气含量达到设定值时通过触点的动作输出信号，容易产生触点火花而引发事故；

为了防止继电器触点动作时产生电弧放电而点燃氢气，氢安全处理系统中所用的继电器选用防爆固态继电器；

元器件的防水防尘等级为IP67，以后将逐步提高；

线束材料的阻燃级别：垂直燃烧V0和水平燃烧H B级，均为最高等级要求。

2.3 氢系统安全防护

氢系统的防护措施，主要是对高压储氢瓶及氢气管路进行安全设计，安装各种安全设施。

如2-1车载氢系统功能框图所示，燃料电池汽车的氢系统安全防护体系是由排空管、安全阀、手动截止阀、单向阀、泄压球阀、碰撞传感器、温度传感器、压力传感器、电磁阀、碰撞传感器等构成，并在监控系统中设定相应的防护值，一旦发生异常状况，则通过氢系统控制器将各种监控信息传递给各种安全设施，及时断开或关闭，使燃料电池汽车处于安全状态。

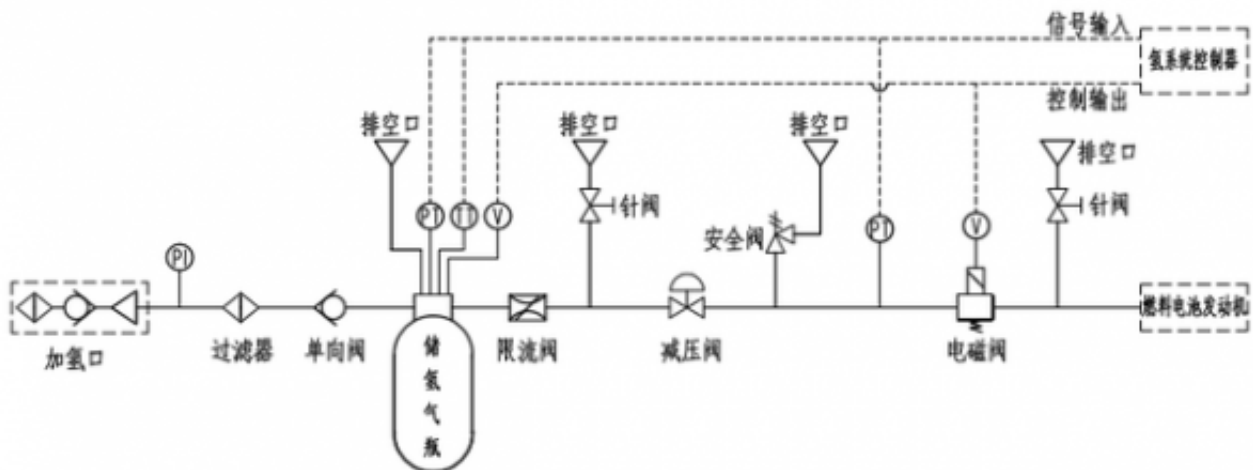


图2-1 车载氢系统功能框图

氢系统的安全设施主要功能如下：

- 1.气瓶安全阀：当储氢瓶氢气压力超过设定值后能自动泄压。例如在瓶体温度由于某种原因突然升高造成瓶内气体压力升高，当压力超过安全阀设定值时，安全阀自动泄压，保证气瓶在安全的工作压力范围之内。
- 2.温度传感器：通过气体温度的变化判断外界是否有异常情况发生。如果气体温度突然急剧上升时，若非温度传感器故障，则在气瓶周围可能有火警发生，可通过氢系统控制器立即报警。
- 3.气瓶电磁阀：气瓶电磁阀为12V直流电源驱动，无电源时处于常闭状态，主要起开关气瓶的作用，与氢气泄漏报警系统联动。当系统正常通电工作时，电磁阀处于开启状态，一旦泄漏氢气浓度达到保护值则自动关闭，从而达到切断氢源的目的。
- 4.手动截止阀：通常处于常开状态，当气瓶电磁阀失效时可以手动切断氢源。电磁阀和手动截止阀联合作用，可有效地避免了氢气泄漏。
- 5.压力传感器：用于判断气瓶中剩余氢气量，保证车辆的正常行驶。当压力低于某值时可以提示驾驶员加注氢气。
- 6.加气口：在加注时与加氢机的加气枪相连，具有单向阀的功能。
- 7.单向阀：在加气口损坏时，阻止气体向外泄漏。
- 8.管路电磁阀：在给氢气瓶充气时，可有效防止气体进入燃料电池。
- 9.减压阀：将氢气的压力调节到燃料电池所需要的压力。当出现异常情况，可以与针阀、安全阀联动将氢气瓶中的残余氢气安全放空。
- 10.热熔栓：设置在高压氢瓶内，可防止周边着火导致氢瓶发生爆炸。一旦温度传感器检测到储氢瓶周边温度过高，则氢瓶内的热熔栓将熔化，使氢气低流速释放，如果周边有火源，只出现氢气缓慢燃烧而避免爆燃情况发生。

2.4 氢系统安全监控

车载氢系统安全监控主要是对储氢瓶系统、乘客舱、燃料电池发动机系统以及尾气排放处的氢气泄露、系统压力、系统温度、电气元件及其他器件进行实时监控，确保燃料电池在加氢、用氢过程中的安全。

氢气安全监控系统主要包括氢系统控制器、氢气泄漏传感器、温度传感器和压力传感器等元器件。

氢系统控制器在工作过程中，氢系统控制器监控氢瓶及氢管路安全、氢气泄漏状态及整车运行状态，只要出现异常，随时主动关闭供氢系统，保证燃料电池车辆安全。

1.氢气泄露监控：在储氢瓶口、乘客舱及燃料电池发动机系统易于聚集和泄漏处均放置多个氢气泄露传感器，实时监测车内的氢含量，一旦发生氢泄漏立即采取响应处置，确保乘客安全。

而且当有任何一个传感器检测到的氢体积分数超过氢爆炸下限的10%、25%和50%时，监控器会分别发出I级、II级、III级声光报警信号。具体控制措施，如表2-1所示。

表2-1 氢气泄漏控制

控制要求	控制要求	颜色警示	声音警示	关闭电磁阀	信息提示
氢气泄漏控制	氢气泄漏量达到0.4%（空气体积含量），一级泄漏报警	黄色报警提示(长时间)	否	否	一级泄露
	氢气泄漏量达到1%（空气体积含量），二级泄漏报警	黄色报警提示(长时间)	否	否	二级泄露
	氢气泄漏量达到2%（空气体积含量），三级泄漏报警	红色报警提示（长时间）	声音报警	是	三级泄漏
	传感器故障报警	黄色报警提示	否	否	浓传故障

2.加注安全监控与防护：车载氢系统加氢时，当氢系统控制器检测到氢瓶内压力超过设定的加注压力或低于设定的低压值时，立即向整车管路系统和加氢机发送停止加氢及氢瓶压力过高或过低的报警信息。

另外，加氢枪安装了温度传感器及压力传感器，同时还具有过电压保护、环境温度补偿、软管拉断裂保护及优先顺序加气控制系统等功能。

3.氢瓶温度监控：当氢系统控制器检测到气瓶的温度超过或低于设定温度时，立即关闭电磁阀，并将氢瓶内温度过高或过低的报警信息发送给整车管路系统和加氢机请求结束正常工作，同时信息提示故障气瓶编号，通过声光报警方式通知司机，立即采取相应措施。

4.供氢时管路压力监控：当车载氢系统供氢时，氢系统控制器检测低压压力超过或低于设定值时，立即关断电磁阀，并将管路超压或管路低压的报警信息发送给整车管理系统请求结束正常工作，同时声光报警提示司机采取必要措施。

5.电气元件短路监控：氢系统控制器到电气元件发生短路时，立即关闭氢系统所有电磁阀并使氢系统断电，同时通过声光报警提示司机氢系统短路，采取相应的安全措施。

2.5碰撞安全防护

燃料电池汽车的碰撞安全主要包括储氢系统、氢气管路、燃料电池堆、各类阀门、连接头等关键部件在发生碰撞时不能遭受破坏。

目前，对燃料电池氢安全的碰撞防护设计除了关键零部件具有防撞能力外，主要通过位置布置、固定装置保护和惯性开关监控碰撞并与整车监控系统联动，自动断电、自动关闭阀门等措施来避免灾难的发生。

例如：燃料电池混合动力客车的高压储氢瓶一般放在车辆前置顶部，燃料电池模块放在客车后置顶部，动力电池放置于地板下方。前置的储氢瓶，通过车顶部的管路与车辆后部的燃料电池系统连接，在发生泄露时，氢气可以迅速排放到大气中去。燃料电池模块对车身结构基本无影响，而动力电池放置在地板下方，则兼顾了车身重心低稳定性好。

高压储氢瓶组是燃料电池供氢系统中的储能部件，也是安全隐患的根源所在。

目前，通过用足够强度的专用储氢系统固定支架将氢瓶组、氢瓶阀及高压管路集成在一起，并用钢带支撑，以保证在碰撞过程中，高压氢瓶的动态位移不会太大，从而避免造成连接管路的断裂和变形导致氢气大量泄漏。

何雍等（2011）对燃料电池实车进行了带压前碰和零压后碰试验，马春生等（2014）对燃料电池大客车侧翻状态下氢系统和燃料电池的加速度和动态位移情况进行了仿真研究。

结果表明，燃料电池和氢气瓶能达到预期所规范的要求。

另外，由于碰撞过程极为复杂，即使零部件已经设计的非常牢固，也有可能造成某处零部件的损坏，并最终导致氢气泄漏，所以，为了预防此状况的发生，在整车上进行了惯性开关的冗余设计，至少设置2个且在车身的不同部位。

当发生碰撞时惯性开关被激活，将碰撞信号传送至氢系统控制器，氢系统控制器立即发出指令关闭储氢瓶阀门，断开氢气供应，将氢气的泄漏量降低至最低。

惯性开关的冗余设计不但确保各种碰撞工况都能够被检测到，而且也可避免因某个惯性开关发生故障而检测不到碰撞情况的发生。

结语

燃料电池汽车的安全是燃料电池汽车产业发展的基础，目前各企业在燃料电池汽车上采取的安全措施，经过多年的实际示范运营证明是可靠的。

随着燃料电池成本下降和性能不断提高，燃料电池汽车已经基本达到和传统汽车相媲美的水平，燃料电池汽车商业化、规模化、产业化是未来发展趋势。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/155705.html>