

燃料电池行业系列研究之五

评级：买入 维持评级

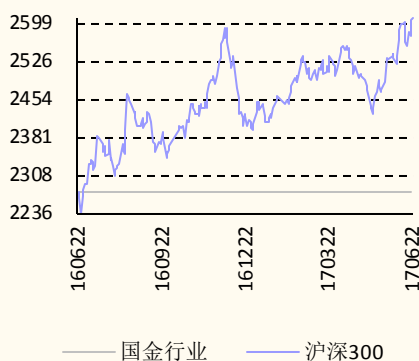
行业深度研究

长期竞争力评级：高于行业均值

氢气安全吗？ ——燃料电池车用氢安全性分析

市场数据(人民币)

行业优化平均市盈率	67.84
市场优化平均市盈率	16.78
国金燃料电池指数	2276.99
沪深300指数	3590.34
上证指数	3147.45
深证成指	10265.20
中小板综指	10989.14



相关报告

- 1.《燃料电池行业行业点评》，2017.4.6
- 2.《燃料电池系列研究之 PEMFC-成本下降路径：国产化、规模经济...》，2016.11.11
- 3.《燃料电池系列研究之加氢站-中期看用户绑定，长期看低成本氢获取...》，2016.8.22
- 4.《氢气储存运输问题分析-气氢拖车能够解决目前需求、其他方向潜力...》，2016.8.8
- 5.《燃料电池的氢气来源分析-负荷中心附近的氯碱副产氢是最优选择》，2016.8.2

投资建议

- 氢气的安全性是燃料电池产业发展不可避免的问题,本文从氢气的特性、储运过程、燃料电池车辆的安全设计、事故和极端情况下的车辆安全、加氢设施的安全规范这5个角度来全面分析氢气的使用安全问题。通过详尽的分析力争解决大家对氢气安全性的顾虑,阐述我们认为氢气在能源领域的应用安全性足以媲美传统燃料和锂电池的原因。
- 氢气不易形成可爆炸的气雾,且其泄露能量和爆炸当量较低。
 - 氢气的扩散速度是天然气的3.8倍,但泄露能量仅约为天然气的40%;
 - 氢气具有最大的浮力和扩散性,泄漏的氢气将会很快上升并向各个方向快速扩散,使得浓度难以达到爆炸所需浓度;
 - 氢气的爆炸能量是常见燃气中最低的,仅为汽油气的1/22;
 - 目前燃料电池车用的储氢瓶都选用铝内胆碳纤维缠绕,并且燃料运输管道大多采用316不锈钢材质,可避免氢脆产生的安全风险。
- 氢气作为工业气体已有很长的使用历史,安全规范完整,有标准的操作规程。现阶段是以氢气长管拖车为储运氢气的主流方式,从氢气的充装到运输,都配有完善的安全装置和详细的操作规范,有效降低储运危险性。
- 燃料电池车辆的设计也考虑了氢气安全性。
 - 车载供氢系统:从技术设计与材料选用两方面下手,实现用氢安全多重保障。通过完整的安全辅助装置实施良好的过温过压保护,并选择合适的材料以及保护结构建立全套储氢系统;
 - 燃料电池整车:严格的出厂测试与密切的氢气监控体系确保运行安全。
- 面对事故和极端试验环境,车辆依然保有良好的安全性能。以丰田提供的案例,无论是子弹贯穿还是泄漏点火,车载储氢瓶都没有出现炸裂或者爆炸现象发生。并且由于氢气的强扩散性,即使在相对密闭的地下停车场或者隧道,氢气泄漏也较难引起爆炸事故。
- 加氢基础设施已有相关技术规范,行业标准体系正在加快健全。加氢站作为构建未来燃料电池汽车网络的重要环节,包括我国在内已有多国出台了相应的安全设计规范,只要遵循设计规范操作,安全性可以得到有效保障。
- 综合以上,我们认为氢气作为新兴能源其安全应用已经十分成熟。现有的燃料电池车辆安全设计可以有效地解决氢气泄漏问题,并降低汽车剧烈碰撞等各种场合下发生氢气爆炸的可能。与燃油车和锂电池车相比,燃料电池车的安全系数完全不低。
- 风险提示:下游需求不达预期。
- 相关推荐公司如下:

张帅 分析师 SAC 执业编号: S1130511030009
(8621)60230213
zhangshuai@gjzq.com.cn

姚遥 分析师 SAC 执业编号: S1130512080001
(8621)60230214
yaoy@gjzq.com.cn

王菁 联系人
(8621)60230250
wangjing1@gjzq.com.cn

代码	股价	货币	市值(百万)	PB	2016	2017	2018		
富瑞特装	300228.SZ	上游设备	10.5	CNY	4967	3.0	N/A	28.0	20.0
大洋电机	002249.SZ	系统	6.7	CNY	15781	1.8	26.8	22.9	18.5
厚普股份	300471.SZ	上游设备	15.1	CNY	5606	3.4	32.1	25.0	19.5
德威新材	300325.SZ	上游设备	5.7	CNY	5757	3.9	68.8	35.5	39.3
雄韬股份	002733.SZ	电堆	16.2	CNY	5682	2.6	42.1	29.9	22.4
雪人股份	002639.SZ	上游设备	8.7	CNY	5864	2.6	171.8	78.1	50.5
Plug Power	PLUG	应用	2.2	USD	480	6.8	N/A	N/A	N/A
Ballard Power	BLDP	系统	2.8	USD	486	4.1	N/A	N/A	N/A
弗尔赛	834626.OC	下游设备	10.0	CNY	311	3.3	N/A	52.1	N/A
亿华通	834613.OC	系统	60.6	CNY	1161	4.0	N/A	125.5	N/A

内容目录

氢气安全吗？——安全性能不亚于常见燃料，可以满足应用需求	4
泄露性：泄露速度快于常见燃料，但泄露总能量不高.....	4
扩散性：具有很高的扩散系数和浮力，泄漏时可迅速降低浓度.....	5
爆炸性：爆炸极限范围宽，但爆炸能很低且不产生浓烟和灰霾.....	6
氢脆现象：会引起金属脆化裂纹，可以选用合适的材料防护避免.....	7
氢气的储运安全吗？——以气氢拖车运输为主，从充装到储运安全措施完善...	8
燃料电池车辆安全吗？——设计完备提供全方位防护，实际运行安全有效	10
车载供氢系统：技术设计与材料选用双管齐下，实现用氢安全多重保障.....	10
燃料电池整车：严格的性能测试与密切的氢气监控体系确保车辆运行安全 ..	12
车辆面对事故和极端情况还安全吗？——储氢瓶被贯穿火烧不易炸裂，密闭空间	
氢气泄露难引发爆炸	16
加氢基础设施安全吗？——已有相关技术规范指导，加快健全行业标准体系 ..	19

图表目录

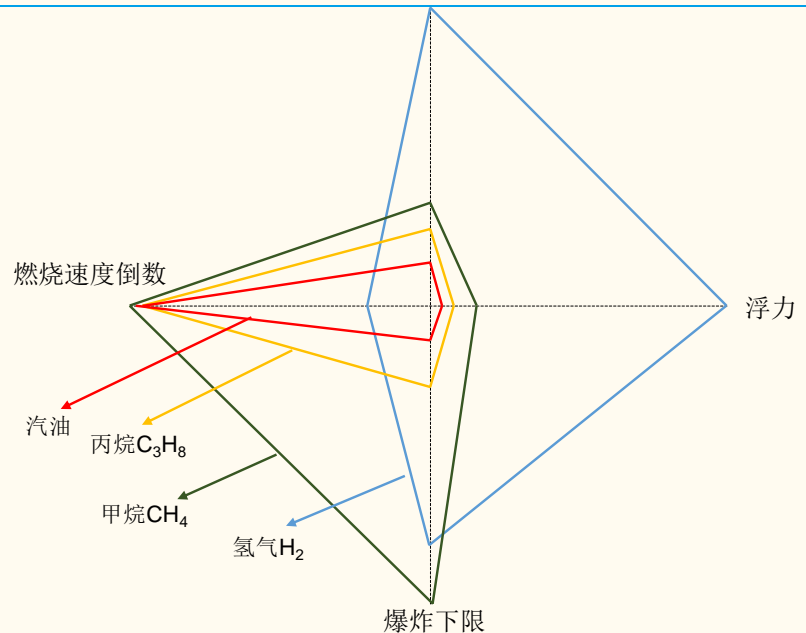
图表 1：氢气与其他常见燃料的特性对比.....	4
图表 2：氢气与其他常见燃气泄漏率（单位时间泄露的体积）对比.....	5
图表 3：氢气和天然气高压储气罐的泄露对比.....	5
图表 4：氢气与其他常见燃气扩散性对比.....	6
图表 5：氢气与其他常见燃气爆炸性对比.....	7
图表 6：氢气和甲烷点火能与燃料浓度的关系.....	7
图表 7：氢气充装工艺流程及设备示意图.....	8
图表 8：气氢长管拖车.....	9
图表 9：气瓶堆放.....	9
图表 10：车载供氢系统安全防护措施.....	11
图表 11：Mirai 储氢瓶材料及附近车身结构.....	12
图表 12：储氢瓶保护系统.....	12
图表 13：氢气排出位置及方向示意图.....	12
图表 14：燃料电池车各类碰撞检测.....	13
图表 15：世博燃料电池车辆安全检测实践结果.....	14
图表 16：按车体位置分布的氢气超标统计.....	14
图表 17：Mirai 氢气传感器分布示意图.....	14
图表 18：燃料电池车氢气感应装置.....	15
图表 19：氢气泄露警告画面.....	15
图表 20：Mirai 储氢瓶子弹贯穿试验.....	16
图表 21：国内厂商储氢瓶子弹贯穿试验.....	16
图表 22：储氢瓶火烧试验.....	17
图表 23：储氢瓶泄露点火试验.....	17

图表 24: 地下停车场氢气泄露过程模拟.....	18
图表 25: 不同类型隧道氢气泄露模拟.....	18
图表 26: 5 月首套 500kg/d 撬式加氢站落户大洋电机.....	19
图表 27: 氢枫能源(十堰)东风特汽加氢站建设项目.....	19
图表 28: 撬装式加氢站设备概述.....	20
图表 29: 2010《加氢站技术规范》对设备的要求.....	20
图表 30: 加氢站风险评价过程.....	20
图表 31: 加氢站站内设备之间的安全距离.....	21
图表 32: 加氢站简化 3D 模型.....	21
图表 33: 各国规范的主要安全距离对比.....	21
图表 34: 加氢装置操作示意图.....	22
图表 35: 不同时刻的氢气可燃云扩散模拟图.....	23
图表 36: 不同时刻的爆炸危害区域模拟图.....	23

氢气安全吗？——安全性能不亚于常见燃料，可以满足应用需求

- 随着各国对燃料电池汽车产业的不断投入，燃料电池汽车技术逐渐成熟，已经有多个汽车厂商推出燃料电池商用车型，各国及各区域燃料电池汽车相关标准也在不断制定和完善中。在燃料选择方面，以氢气作为燃料具有环保、可再生、来源广泛的优势。但是，由于氢气本身的物化特性，使得车载氢气系统存在着一定的安全隐患，也使得人们对于燃料电池车的安全性普遍存在顾虑。
- **氢气是最不容易形成可爆炸的气雾的燃料，只要建立有效的防控手段，氢气的安全性还是十分出众的。**与常规能源相比，氢气有很多特性。其中既有有利于安全的属性，也有不利于安全的属性。有利于安全的属性有：更大的扩散系数和浮力，单位体积或单位能量的爆炸能更低等；不利于安全的属性有：更宽的爆炸极限范围，更容易泄漏，更高的火焰传播速度等。本文就人们普遍关心的几个氢能安全问题，结合氢气的特性进行分析比较。
- 将氢气的主要特性和其它常见燃料作对比，建立四个坐标分别是扩散、浮力、爆炸下限和燃烧速度的倒数，越靠近坐标原点越危险。可以看出，就扩散、浮力和爆炸下限而言，氢气都远比其它燃料安全，但氢气的燃烧速度是常见燃料中最快的。

图表 1：氢气与其他常见燃料的特性对比



来源：国金证券研究所

泄露性：泄露速度快于常见燃料，但泄露总能量不高

- **氢气相对比液体燃料和其他气体更容易从小孔中泄露，因此氢气相对于其他燃料的泄露速度更快。**对于透过薄膜的扩散，氢气的扩散速度是天然气的 3.8 倍。实际当中，氢气易泄漏更多的是通过燃料管线、阀门、高压储罐上出现的微小裂缝。通过对燃料运输系统的合理设计，可以避免采用厚度很薄的材料。
- 从表中可以看出，在不同的泄漏状态下氢气的泄漏率大于其他常见燃气。在湍流情况（流体不规则运动）下，氢气的泄漏率是天然气的 2.8 倍。在层流情况（流体规则运动）下，氢气的泄漏率比天然气高 26%，丙烷泄漏的更快，比天然气快 38%。

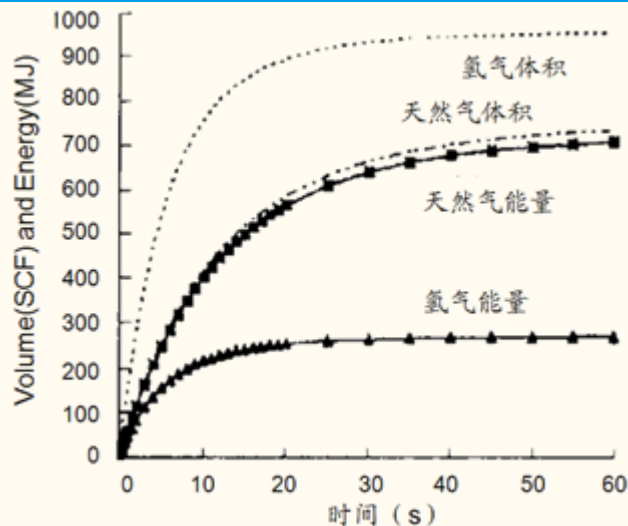
图表 2：氢气与其他常见燃气泄漏率（单位时间泄露的体积）对比

相对泄漏率	氢气 H ₂	甲烷 CH ₄	丙烷 C ₃ H ₈
扩散	3.80	1.0	0.63
层流	1.26	1.0	1.38
湍流	2.83	1.0	0.60

来源：学术期刊，国金证券研究所

- 根据燃料电池车泄漏位置和泄露时机的不同，氢气的泄漏状态是不同的：
 - (1) 储氢瓶（35MPa）直接发生泄漏将直接以湍流的形式发生，此时发生泄漏的氢气速度可达声速的 3 倍多（1308mps）。相比之下，天然气汽车由于气瓶内压力为 20MPa 左右，发生泄漏时的速度仅为声速的 1.2 倍多（449mps），氢气显然的泄漏要比天然气快。
 - (2) 如果氢气在供给电堆时发生泄露，将以层流的形式发生。这是由于气瓶后端由于有减压器，一般一级压力将降为 1.5MPa 左右；在氢气进入燃料电池系统之前会再进行二级减压，最终供给电堆的氢气压力为 100kPa 左右。
- 相同时间内泄漏的氢气体积总是大于天然气，但泄漏的天然气的能量将大于氢气的能量。由于天然气和氢气都是储存在汽车的高压气罐中，如果发生泄漏，都是以湍流的形式，此时氢气的相对泄漏率是天然气的 2.83 倍。一般在 20MPa 压力下的压缩天然气的体积能量密度仅相当于汽油能量密度的 30%，而国内现行的 35MPa 压力下的压缩氢气其体积能量密度是汽油的 16.7%。但是泄漏之后的气体处于常温常压的状态，此时氢气的体积能量密度为 12.74MJ/Nm³，而天然气为 39.82MJ/Nm³，所以在相同时间内，泄露的氢气体积虽然更多，但是根据泄露情况的不同，泄漏后天然气携带的能量大约为泄漏氢气 1.11-2.48 倍，下图模拟的是氢气和天然气泄漏时体积和能量对比：

图表 3：氢气和天然气高压储气罐的泄露对比



来源：《氢能安全性问题分析》，国金证券研究所

扩散性：具有很高的扩散系数和浮力，泄漏时可迅速降低浓度

- 氢与汽油、丙烷和天然气相比，氢气具有更大的浮力（快速上升）和更大的扩散性（横向移动）。氢气的密度仅为空气的 7%，而天然气的密度是空气的 55%。所以即使在没有风或不通风的情况下，它们也会向上升，而且氢气会上升的更快一些。但丙烷和汽油气都比空气重，所以它们会停留

在地面，扩散的很慢。氢的扩散系数是天然气的 3.8 倍、丙烷的 6.1 倍、汽油气的 12 倍。这么高的扩散系数表明，即使在通风不畅的环境下，泄漏的氢气也将会很快上升并向各个方向快速扩散，迅速降低浓度。

- 在户外，氢的快速扩散对安全是有利的。但在相对密闭的环境中，这如果氢气的泄漏量很小，氢气会快速与空气混合，保持在爆炸极限浓度以下；如果氢气的泄漏量很大，快速扩散会使得混合气浓度很容易达到爆炸极限，不利于安全。

图表 4：氢气与其他常见燃气扩散性对比

	氢气 H ₂	甲烷 CH ₄	丙烷 C ₃ H ₈	汽油（气）
浮力（与空气的密度比）	0.07	0.55	1.52	3.4-4.0
扩散系数（cm ² /s）	0.61	0.16	0.10	0.05

来源：国金证券研究所

爆炸性：爆炸极限范围宽，但爆炸能很低且不产生浓烟和灰霾

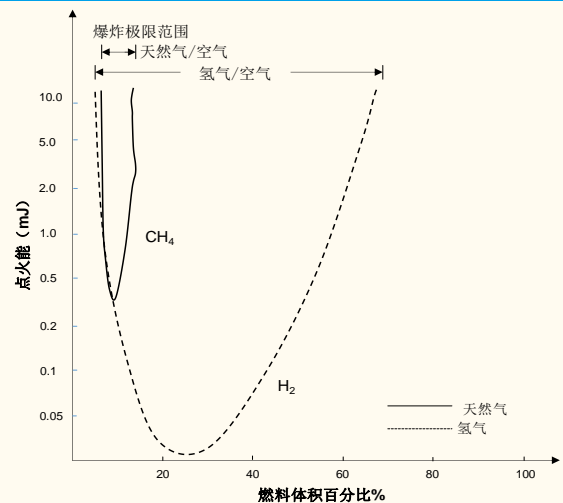
- 在空气中，氢的爆炸范围很宽，而且点火能不高。氢气的爆炸极限范围（体积分数）是 4%-75.6%，最小点火能仅为 0.02mJ。而其他燃料的爆炸极限范围则要窄得多，点火能也要高得多。一般来说，氢气爆炸要达到两个条件，除了要满足氢气的爆炸极限，还要施加静电、明火或混合空气温度达到 527°C 及以上。氢气爆燃的条件是有先后顺序的，首先要满足浓度，然后再满足点燃条件。如果已经有点燃条件，那么氢气只会排出多少就燃烧多少，不会爆燃，就像煤气灶燃烧燃气一样。
- 从爆炸上限（UEL）考虑，在泄漏量比较大的情况下，天然气的浓度超过 15%，或者汽油气的浓度超过 7.8%，的确要比氢气的浓度超过 75% 要容易的多。但在实践中经常发生的情况是，一般通过限制最大可能的燃料流量或者增加空气流通量尽量使燃料混合物的浓度低于爆炸下限（LEL）。所以爆炸下限比爆炸极限范围更好地表示燃料空气混合物的着火趋势。而氢气的爆炸下限是汽油气的 4 倍、丙烷的 1.8 倍，只是略低于天然气。
- 在特定条件下（爆炸下限附近，燃料浓度为 4%-5%），引爆氢气/空气混合物所需要的能量与点燃天然气/空气混合物所需的能量基本相同。这是由于：氢气的最小点火能是在浓度为 25%-30% 的情况下得到的，在较高或较低的体积分数情况下，引爆氢气所需的点火能会迅速增加。
- 如果发生爆炸，氢气的爆炸能量是常见燃气中最低的，特别就单位体积爆炸能而言，氢气爆炸能仅为汽油气的 1/22。在工程上，一般通过安装探测器警报与排风扇来共同控制氢气浓度保持在 4% 的爆炸下限以下，并且探测器的灵敏度设置远远低于爆炸下限，只有安全保护系统出现重大问题，才会造成氢气大量泄露，而出现这种情况的概率是很小的。
- 氢气火焰几乎是看不到的，因为在可见光范围内，燃烧的氢气放出的能量很少。因此接近氢气火焰的人可能会不知道火焰的存在，从而增加了危险。但这也有有利的一面，由于氢火焰的辐射能力较低，所以附近的物体（包括人）不容易通过辐射热传递而被点燃。相反，汽油火焰的蔓延一方面可以通过液体汽油的流动，另一方面也可以通过汽油火焰的辐射。因此，汽油比氢气更容易发生二次着火。而且汽油燃烧产生的浓烟和灰霾会造成对人的额外伤害，而氢气燃烧只会产生水蒸气。

图表 5：氢气与其他常见燃气爆炸性对比

	氢气 H ₂	甲烷 CH ₄	丙烷 C ₃ H ₈	汽油（气）
爆炸极限（空气中的体积分数%）				
爆炸下限（LEL）	4.0	5.0	2.2	1.0
爆炸上限（UEL）	75.6	15	9.5	7.8
最小点火能（mJ）	0.02	0.29	0.3	0.24
爆炸当量				
单位气体能量（gTNT/kJ）	0.17	0.19	-	0.21
单位气体体积（gTNT/m ³ ）	2.02	7.03	-	44.22

来源：国金证券研究所

图表 6：氢气和甲烷点火能与燃料浓度的关系



来源：国金证券研究所

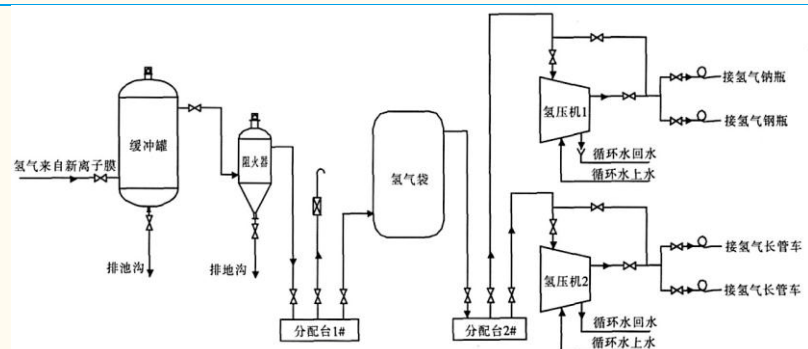
氢脆现象：会引起金属脆化裂纹，可以选用合适的材料防护避免

- 氢脆是由氢在进入金属后，局部氢浓度达到饱和后聚合为氢分子，造成应力集中，引起金属塑性下降、诱发裂纹或断裂的现象。锰钢、镍钢以及其它高强度钢都容易发生氢脆。这些金属长期暴露在氢气中，尤其是在高温高压下，其强度会大大降低，导致失效。氢脆只可防，不可治；一经产生，就很难消除。
- 根据氢的来源不同，氢脆又可分为内部氢脆和环境氢脆。氢在常温常压下并不会对金属产生明显的腐蚀，但当温度超过 300℃和压力高于 30MPa 时，会产生氢脆这种腐蚀缺陷，尤其在高温条件更甚。因此在进行氢能安全设计时，如果与氢接触的材料选择不当，就会导致氢的泄漏和燃料管道的脆化断裂。
- 选择合适的材料，可以避免因氢脆产生的安全风险。金属铝和一些合成材料不会发生氢脆。另外，如果氢气中含有的极性杂质，会强烈地阻止氢化物的生成，如水蒸汽、H₂S、CO₂、醇以及其它类似化合物都能阻止金属生成氢化物。只有高纯度金属十分洁净，放置在不含杂质的极高纯度氢气中，才有利于生成氢化物，发生氢脆。目前燃料电池车用的储氢瓶都选用铝内胆碳纤维缠绕并且燃料运输管道大多采用 316 不锈钢材质，都具有较好的抗氢脆性能。

氢气的储运安全吗？——以气氢拖车运输为主，从充装到储运安全措施完善

- 储氢的方式主要分为：**低温液态储氢、高压气态储氢和储氢材料**三种。氢的质量能量密度很高，大约是汽油的 3 倍，但体积能量极低，常温常压下比汽油低 4 个数量级。较为现实的做法是在生产厂将制得的氢气压缩或液化后进行运输和储存。
- 运氢的方式主要分为：**气氢拖车运输 (tube trailer)、气氢管道运输 (pipeline) 和液氢罐车运输 (liquid truck)**。
 - 拖车运输适用于将制氢厂的氢气输送到距离不太远而同时需用氢气量不很大的用户，前期投资不高；而管道运输前期投入高，适用于大规模的输送；液氢罐车的运输能力强但仍存在技术难点。因而从现阶段加氢站对运输距离 (<500km, 200km 为宜) 和运输规模 (10 吨/天) 的需求来看，**氢气最佳的运输方式仍是气氢拖车**。
 - 我国常用的高压管式拖车一般装 8 根高压储气管。其中高压储气管直径 0.6m、长 11m、工作压力 35MPa、工作温度为 -40~60°C、单只钢瓶水容积为 2.25m³，重量 2730kg。这种车总重 26030kg，装氢气 300kg 以上，输送氢气的效率只有 1.1%，未来更高压力的存储会提升载氢能力。
 - **气氢拖车系统的运行过程如下**：空载气氢拖车在集中制氢厂加氢到满载，然后车辆行驶到加氢站，直接卸下车上管状储存容器作为加氢站的存贮设备，同时拾起原本位于加氢站的“空载”管状容器，运回集中生产厂开始新一轮的加载。
- 从氢气的充装阶段看，为了将常温下将 7kPa 的氢气多步压缩至 35MPa 甚至更高专供氢气长管车充装，整个氢气充装工艺十分复杂，包括压缩机、罐装系统等各环节都有相应的安全措施：
 - **氢气压缩机的安全保障**：氢气压缩机采用可编程控制器进行集中控制，控制系统还设置有各种自动保护功能和故障报警及故障信息显示功能，可以监控压缩机各处压力，一旦压力超出规定范围，压缩机连锁自动停机以保证安全。
 - **氢气充装系统的安全保障**：**(1) 超压保护**：在氢气充装排上设置氢气超压泄压安全阀，避免氢气充装系统发生超压事故。**(2) 回流保护**：在氢气充装排上设置氢气回流阀，氢气回流利用，减少排放大气的氢气量，既利于安全，也减少了浪费。**(3) 放空保护**：在充装排上设置氢气放空管道，在氢气压缩机开、停车时，进行放空，既利于氢气系统的提纯，又避免形成爆炸性的混合气体，保证了生产系统的安全。
 - 除此之外，氢气充装地点都配有氮气灭火系统等消防措施，在氢气容易泄漏的爆炸危险区域都设置有氢气检漏报警装置，保障整个氢气充装站的生产设备及人身安全。

图表 7：氢气充装工艺流程及设备示意图



来源：《氢气充装站的扩建及安全技术改造》国金证券研究所

- **从氢气的运输过程来说，主要依靠气氢长管拖车。**长管拖车总体结构分行走机构、大容积钢质无缝钢瓶（即气瓶）及其连接装置三部分。气氢长管拖车装载的压缩氢气工作压力高，使用时需经常来往于城市道路及建筑密集地带，安全问题非常重要，有诸多安全设置：
 - **气瓶质量：**气瓶作为长管拖车的主要承压部件，其质量与长管拖车的安全性能密切相关。因此气瓶内外表面均经过喷丸处理，并用内窥摄像系统逐只进行内部全面检查，确保内部质量。气瓶成形及水压试验后逐只进行磁粉检测，确保不得有任何裂纹状缺陷存在，且气瓶的两端螺纹均经磁粉检测，确保连接螺纹质量可靠。
 - **爆破片装置：**爆破片装在气瓶的两端，较安全阀体积小、重量轻，但密封十分可靠，同时其泄放面积较同体积的安全阀泄放面积要大得多。
 - **压力表：**气瓶充卸气管路上设置压力表一块，量程取 1.5-3 倍的工作压力，精度 1.5 级。压力表采用防震型，其前端设置压力表阀，便于更换拆卸。
 - **温度计：**考虑到工作环境温度及充气时气体温度升高、卸气时气体温度降低等因素影响，温度计测量范围应覆盖最低和最高工作温度，测量范围应取-40-80。温度计多采用双金属型，读数方便，坚固耐用，且采用防护套管与介质隔开，易于更换拆卸。
 - **安全连锁装置：**装卸气过程中，即操作仓门打开状态，严禁拖车启动运行，否则会造成装卸软管等连接部位拉断、气体泄漏等严重事故。
 - **导静电装置：**长管拖车尾部设置导静电接地带，操作仓管路上设置导静电片，可随时导出运行时及充卸气时积聚的静电荷，不至于突然放电而产生电火花。
 - 除此以外，气氢长管拖车的装卸操作有标准的操作历程，只要工作人员按照标准操作可以有效保障装卸安全。并且根据上海危险气体运输法规规定在气温大于 30°C 时，仅能在夜间运输，这也降低了气氢长管拖车运输的危险性。
- 因此，通过长管拖车储运氢气尽管存在危险特征，但可通过合理方式降低风险，以保障氢气充装、运输过程中的安全性。

图表 8：气氢长管拖车



来源：公开信息，国金证券研究所

图表 9：气瓶堆放



来源：公开信息，国金证券研究所

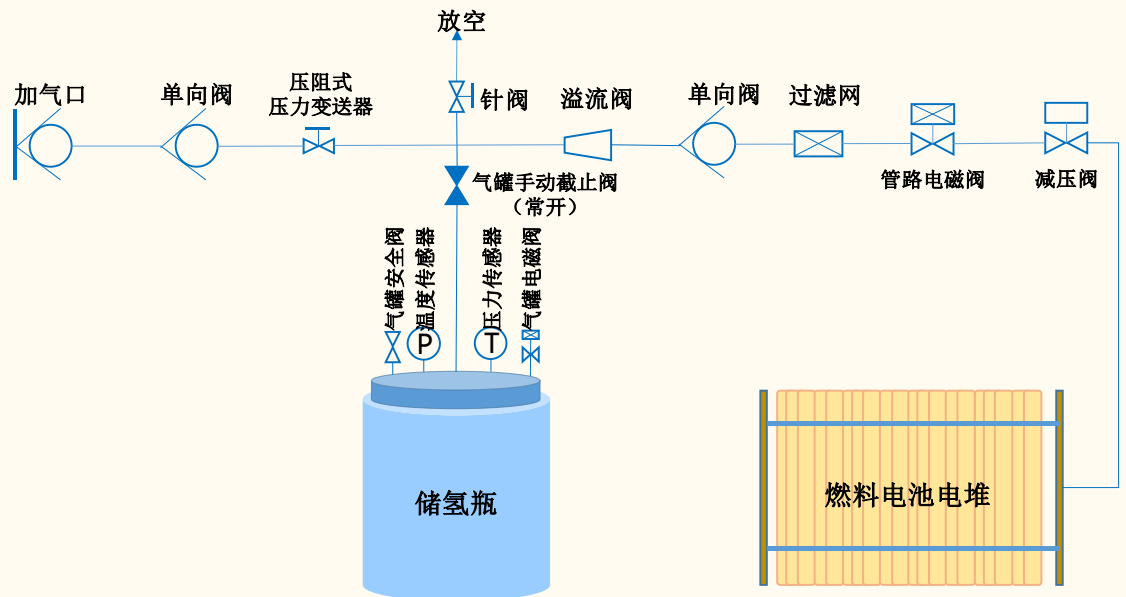
燃料电池车辆安全吗？——设计完备提供全方位防护，实际运行安全有效

- 由于氢气不同的物化特性，如何应用于燃料电池车中依然可以保证安全。我们从**车载供氢系统的安全性**和**车辆的安全性**两个角度进行全面的介绍。

车载供氢系统：技术设计与材料选用双管齐下，实现用氢安全多重保障

- **车载供氢系统是燃料电池汽车的重要组成部分，功能主要是为燃料电池系统提供稳定压力的氢气，而其安全措施主要从预防与监控两方面着手。**一方面通过完整的安全辅助装置实施良好的预防，另一方面通过合理的布置各类传感器形成完善的监控，通力合作维护了车载供氢系统的安全性。
- **从技术设计的角度说，车载供氢系统主要由高压储氢瓶、加注口、单向阀、安全阀、溢流阀、减压阀、电磁阀、热溶栓、压力和温度传感器以及氢管路等零部件组成。其不仅应具备过温保护、低压报警、过压保护、过流保护等功能，还考虑到了碰撞安全、氢气泄漏的控制等。**
 - **过温保护：**燃料电池车的高压储氢罐上一般会安装**温度传感器**用来检测气罐内气体温度，由这些传感器将气罐内气体的温度信号发送到驾驶室仪表盘上，通过气体温度的变化来判断外界是否有异常情况发生。
 - **低压报警：**储氢罐上安装的**压力传感器**主要用于判断气罐中剩余氢气的量，以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。其次，驾驶员可根据仪表盘上的压力读数判断氢气罐是否有泄漏发生。
 - **起火防护：**当车身处于起火环境中，温度传感器和压力传感器会检测到储氢瓶内气体温度和压力的异常并切断氢气供应。同时，为防止储氢瓶因高温高压爆炸，瓶阀上安装了**易熔栓**。以丰田的 Mirai 为例，其易熔栓在 110℃ 的温度下易熔栓会溶解，氢气可以以每分钟不超过 118NL 的速度逐渐排出，在 60 分钟内排空。
 - **过压保护：**当气罐中氢气压力超过设定值时，能通过**气罐安全阀**自动泄压，例如瓶体温度由于某种原因突然升高造成气罐内气体压力上升，当压力超过安全阀设定值时，安全阀自动泄压，保证气罐在安全的工作压力范围之内。并且**减压阀**可以将氢气的压力调节到电池所需要的范围，当出现危险时**针阀**可以将氢气瓶中的残余氢气安全放空。
 - **过流保护：****溢流阀**在系统正常工作时，阀门关闭。只有储氢容器或管道流量异常增大，超过规定的极限（系统压力超过调定压力）时开启溢流阀，进行过流保护，使系统压力不再增加（通常溢流阀的调定压力比系统最高工作压力高 10%~20%）。
 - **氢气泄露控制：**气罐**电磁阀**通常与**手动截止阀**联合作用，当电磁阀能正常工作时，手动截止阀处于常开状态，这时电磁阀由直流电源驱动，无电源时处于常闭状态，主要起开关气瓶的作用，与氢气泄露报警系统联动，当泄漏氢气浓度达到保护值能自动关闭，从而达到切断氢源的目的。当气罐电磁阀失效时利用手动截止阀切断氢源，双重保障有效避免和控制氢气泄漏。**单向阀**在加气口或供氢管路出现损坏情况下防止气体向外泄漏并提高加气口的使用寿命。
 - **过滤防护：**加气口具有颗粒过滤功能，与未遮蔽的电气接头、电气开关和其他点火源保持至少 200mm 的距离。**管路电磁阀**在给气罐充气时，可有效防止气体进入电池。**过滤阀**可防止管路中的杂质进入燃料电池，以免损坏电池。

图表 10：车载供氢系统安全防护措施

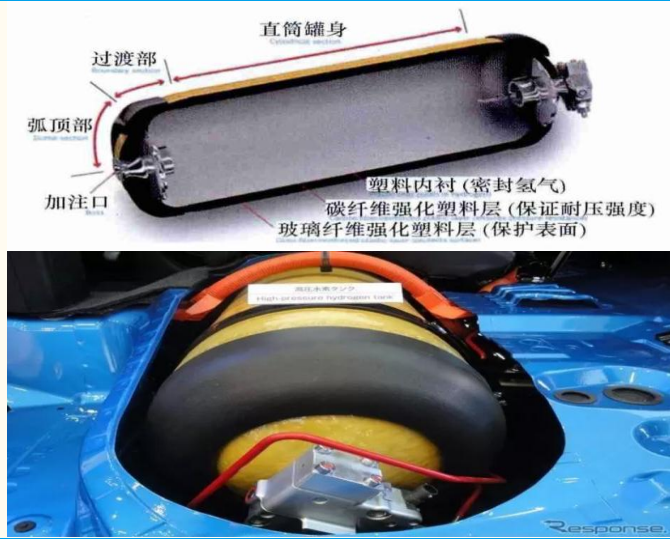


来源：国金证券研究所

- 在零部件制造方面，用于储存氢气的氢瓶和系统管路由于氢脆等原因对其要求较高，因此选择合适的材料以及保护结构对储氢系统的安全至关重要。
 - 储氢瓶材料选择：现在美国 Quantum 公司、丰田 Mirai 等都采用铝合金内胆碳纤维缠绕的高压储氢瓶，因其重量轻，单位重量储氢密度高，很好解决了氢脆问题并降低了成本，在燃料电池项目中得到了很好的应用。Mirai 的储氢罐由三层结构组成，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，总厚度 25mm。其强度达到了以往 40mm 厚度的水平。静止状态下不会由罐壁泄露氢气。
 - 碳纤维缠绕复合材料气瓶还具有以下优点：1) 金属材料的疲劳破坏通常是没有明显预兆的突发性破坏，而复合材料中的增强物与基体的结合既能有效地承载负荷，能阻止裂纹的扩展，提高了气瓶的断裂韧性；2) 复合材料中的大量增强纤维使得材料过载而少数纤维断裂时，载荷会迅速重新分配到未破坏的纤维上；3) 复合材料气瓶在受到撞击或高速冲击发生破坏时不会产生具有危险性的碎片，从而减少对人员的伤害；4) 无需特殊处理就能满足耐腐蚀的要求。
 - 储氢罐保护：在储氢罐本身足够坚固的前提下，还需要给高压储氢罐的足够强度的固定支架和钢带，以保证在碰撞过程中，高压储氢罐的动态位移不会太大，避免造成连接管路的断裂、变形和氢气的大量泄漏。一般储氢罐保护系统采用整体式设计，整个框架通过 3 根横梁和 2 根纵梁将两个氢气罐集成到一个框架总成。纵梁截面为“Π”形，由几块板材拼焊而成，中部设计出两个圆弧形凹槽，可以对氢气罐进行有效的固定和保护。
 - 氢系统管路：由于系统高压段压力已达 35MPa，同时在氢加注过程可能出现压力冲高过程，因此在氢系统管路设计中也必须进行合适的选材。氢管路中大多采用 316 不锈钢材质的管路，有研究表明 316 不锈钢在 85℃，45MPa 氢气中的拉伸性能、低应变速率拉伸性能、疲劳性能和裂纹扩展性能与在惰性气体和空气中结果相似，即 316 不锈钢在室温下具有较好的抗氢脆性能。
 - 燃气管设计：燃气管排出氢气的方向是顺延车底部的前后方向，可以保护车舱内不会被火焰殃及。这并不是新的设计，早在天然气车产生

之初，便通过严格实验而产生的安全设计规范，已经应用很长时间，安全可靠。

图表 11: Mirai 储氢瓶材料及附近车身结构



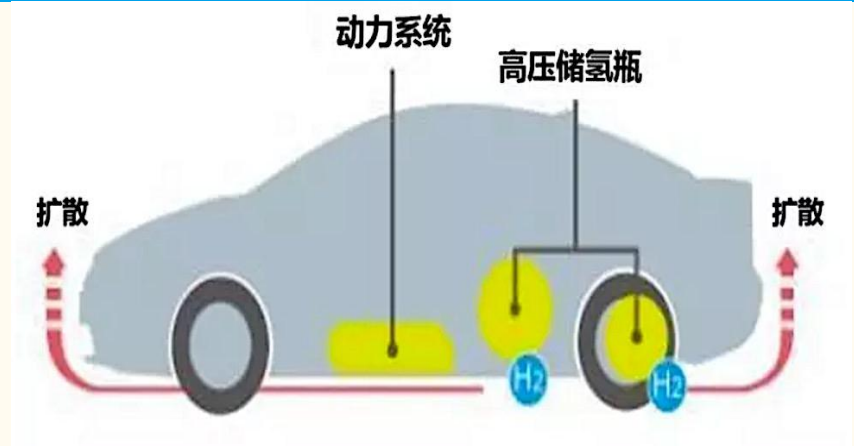
来源: TOYATA Global, 国金证券研究所

图表 12: 储氢瓶保护系统



来源: 国金证券研究所

图表 13: 氢气排出位置及方向示意图



来源: TOYATA Global, 国金证券研究所

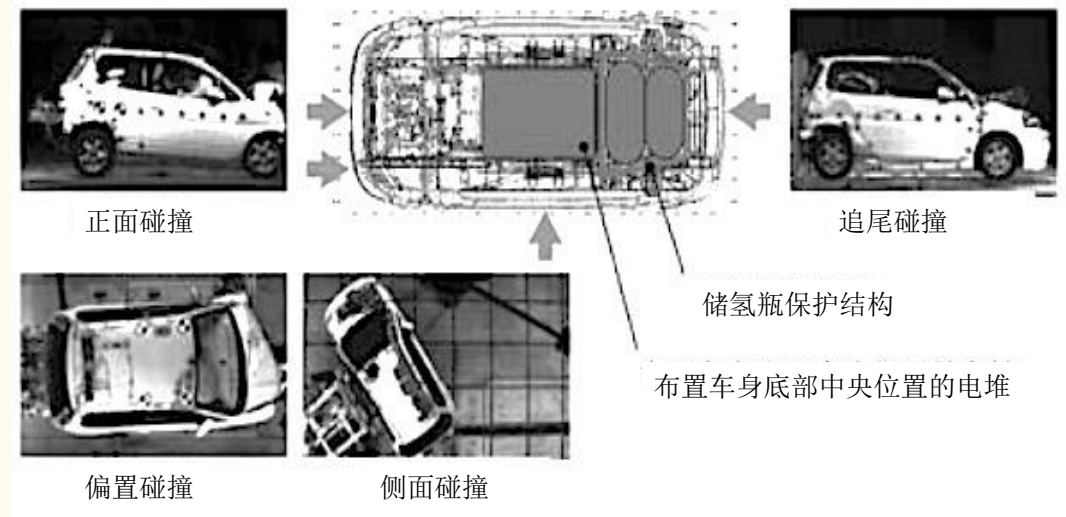
燃料电池整车：严格的性能测试与密切的氢气监控体系确保车辆运行安全

- 多样化的安全性测试能确保燃料电池汽车出厂时的安全性和一致性。除了保证车载氢气系统安全性之外，相关的安全性检测在燃料电池汽车动力系统的开发方面也显得尤为重要。在燃料电池汽车出厂之前就要做多次安全性测试。
 - 氢气泄露检测：由于氢气是一种低密度的气体，检查泄露最常规的方法就是液体检测，其方法与测试轮胎漏气部位的原理差不多。常规的检查方法就是向供氢系统通入氮气或氦气等惰性气体，这种气体密度小，而且活性低。之后进行水体气泡检测以及皂泡实验，对所有连接点进行有效测试。水体测验成本不高，实际效果也不错。灵敏度较高的检测方法有超声波、卤素火焰法以及氦质谱泄漏检测仪等，但是成本较高，而且测试过程中比较复杂，更多的是应用在高级车辆中。
 - 系统振动检测：为了考察车载氢气系统的可靠性，以防燃料电池汽车在经历剧烈振动之后产生漏气现象。储氢瓶与燃料电池电堆都要进行一个整体的振动检测，统称为系统振动检测。其具体检测方式是在垂

直方向采用 8g（重力加速度）加速度，水平方向施加 2g 加速度进行振动检验，在持续经过指定的振动时间后，再检查整个系统的气密性。

- **追尾碰撞安全以及防追尾检测：**如何预防并保证燃料电池汽车在发生追尾碰撞时，不会导致其氢气的泄漏、控制系统的失效以及电路起火，这些都是必须考虑的安全性问题。目前国内还没有系统的碰撞安全性评价体系，不过结合国内外厂商所做试验和相关规范标准，一般燃料电池车辆要接受正面碰撞、偏置碰撞、侧面碰撞和追尾碰撞等多方面检测，然后对碰撞后的氢气泄漏率、电解液溢出量、储氢瓶位移等都需要进行评价，保证燃料汽车在各类碰撞情况下的安全性和进一步的车身布置改进。

图表 14：燃料电池车各类碰撞检测



来源：《基于氢燃料电池汽车碰撞安全性的研究》，国金证券研究所

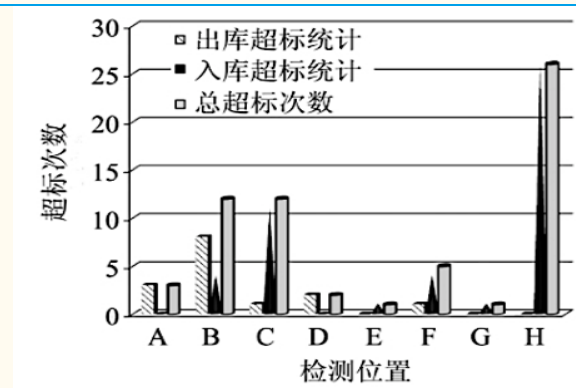
- **2010 年世博燃料电池车辆安全检测实践（氢气超标情况监测）：**早在 2010 年，上汽集团在世博会期间就对于世博示范运行的燃料电池汽车进行过安全检测实践。检测车辆 140 余辆，其中包括观光车 100 辆、轿车 42 辆和大巴车 6 辆。检测范围包括供氢系统氢安全、车内氢安全、零部件和管路氢安全、燃料电池发动机氢安全等多个方面。具体方式是将传感器分布在被检测车辆的各个部位，在车辆入库出库时进行系统的检测，得出氢气超标情况。结果显示燃料电池车辆在实际运行中，整体安全性很高，氢气超标情况多由于当时车体特性所致，不影响整车安全。
 - 以某类轿车和大巴车为例，检测结果显示，轿车和大巴车分别共检测了 3468 次和 1119 次，其中轿车共超标 62 次，超标率约为 1.79%，大巴车共超标 16 次，超标率约为 1.43%。
 - **氢气超标多发生在加注口和车轮轮罩及前轮机罩边缘处。**（1）**加注口特性影响：**入库时车辆刚加满氢气，加注口因本身结构设计，导致会有少量氢气短时间内聚集，从而导致此时此处检测的氢气超标，是正常现象，不影响整车安全。（2）**前舱外边缘超标：**在入库检测时出现了多次前舱氢超标，经分析验证此处氢气来源于 12V 铅酸蓄电池氢气的释放。因检测温度为 35°C 以上，此种现象较为明显。但是也不影响整车安全。
 - 统计结果见下图：其中以 A、B、C、D、E、F、G、H 分别表示轿车的各个位置。A：车周围；B：车轮轮罩；C：前轮机罩边缘；D：行李箱；E：乘员舱；F：手动排空管；G：排空管；H：加注口。

图表 15: 世博燃料电池车辆安全检测实践结果

项目	轿车 (3468 次)		大巴车 (1119 次)	
	超标车次	超标率	超标车次	超标率
超标情况	62	1.79%	16	1.43%
出库超标统计	15	0.43%	2	0.18%
入库超标统计	47	1.36%	14	1.25%

来源:《燃料电池汽车氢安全研究和实践经验总结》, 国金证券研究所

图表 16: 按车体位置分布的氢气超标统计



来源:《燃料电池汽车氢安全研究和实践经验总结》, 国金证券研究所

- 密切的监控体系确保燃料电池车在实际运行时的安全性: 根据不同的要求, 在燃料电池车上对氢气传感器类型、数量以及布置的位置均有一定的要求。燃料电池车氢气传感器核心感应元件都使用铂金制造, 稳定性高。一般来说, 出于对安全性能考虑, 燃料电池车总共要求安装 4 个氢气传感器, 而所有传感器信号需直接传送到仪表盘的醒目位置, 及时通知驾驶员。
 - 由于氢气传感器的测量原理不同, 造成了其测量灵敏度及测量范围的差别, 主要有半导体式、催化燃烧式、电化学式以及光化学式等。根据各种传感器的量程不同, 又可以分为低量程传感器和高量程传感器。从灵敏度上看, 低量程的反应比较快, 并且在低浓度时反应比较明显。一般传感器的反应时间都在 1s 左右。传感器可以等效于两个电阻, 一个是可变电阻, 另一个为固定电阻。可变电阻随着氢气浓度、湿度和温度的变化而变化, 其中氢气浓度和湿度对它的影响比较大。传感器的可变电阻随着浓度变大而变小 (即信号端的输出电压也变大)。
 - 以丰田 Mirai 的氢气传感器的布置位置为例:
 - 1) 一般传感器的报警值根据不同的位置和警戒等级, 都设置都再 2.5% 的氢气爆炸下限 LEL 到 12.5%LEL 之间。报警系统自带蜂鸣器, 泄漏传感器处于常供电状态, 在不开车的情况下如果测到氢气泄漏, 蜂鸣器可以发出报警声音。
 - 2) 一般警报装置有两套, 且独立供电且结构简单, 同时不工作的可能性很低, 应该低于客机操作电传系统及其备份同时坏掉的概率。
 - 在车辆发生碰撞的情况下, 整车控制系统能通过车上安装的碰撞传感器信号将氢气供应系统切断, 一般配备在动力控制单元 (PCU) 上。这一点与传统汽车在发生碰撞情况下自动切断油路系统一样。

图表 17: Mirai 氢气传感器分布示意图



来源：国金证券研究所

图表 18：燃料电池车氢气感应装置



来源：百度图片，国金证券研究所

图表 19：氢气泄露警告画面



- 传感器信号需直接传送到仪表盘的醒目位置，当氢气泄漏浓度低时，标识变大，会出现警告画面；当浓度升高时，系统会自动关闭储氢罐阀门。

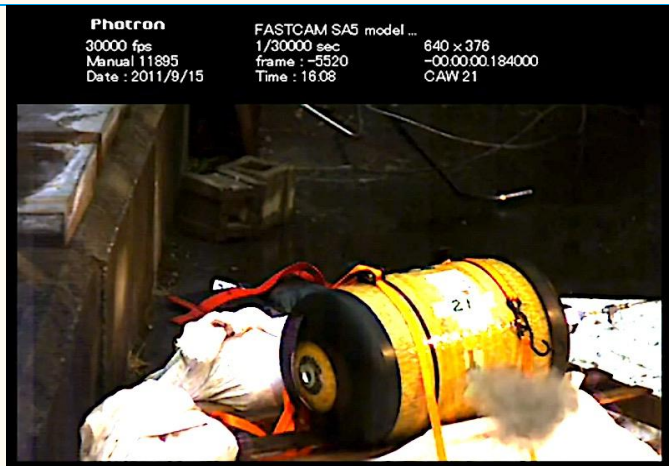
来源：TOYATA，国金证券研究所

- **与锂电池车辆相比，燃料电池车的安全性也处于上风。**近年来，锂电池车辆事故常有发生，其最大的安全隐患就是产生自燃或者火灾，而形成原因是多方面的，电池内部短路或者锂电池在外界干扰下温度上升，容易产生气体状锂离子聚合物，其中包含了容易燃烧的锂离子气体和氧气，当聚合物的浓度达到临界点或者温度达到临界点，就会形成自燃。一旦锂离子聚合物燃烧，将不断发生链式反应，产生新的气体状锂离子聚合物，从而加剧燃烧的剧烈程度。
 - **锂电池起火迅猛。**通过研究发现，用单体锂电池做穿刺实验，电池在穿刺后即刻剧烈发热并冒出大量的浓烟，并在 1 秒钟后出现自燃，在 5 秒钟时因为剧烈燃烧出现爆炸的情况。
 - **锂电池火灾特性复杂。**锂电池的燃烧是锂离子聚合物，而锂离子聚合物属于金属和气体的混合可燃物质，其火灾特点非常复杂，传统的灭火剂不能对其产生扑灭效果。
 - **锂电池起火有流动性。**由于锂离子聚合物具有流动性，会充斥在电池箱的箱体内部，起火点不确定，不能被定向来进行扑灭。
- **相比之下，由于氢气爆炸要求浓度高，在爆炸前一般就已经开始燃烧，反而很难爆炸。**而且氢气重量轻，溢出系统的氢气着火后会迅速向上升起，反而一定程度上保护了车身和乘客。同时，现在车用储氢装置采用的铝合金内胆碳纤维缠绕的储氢瓶安全系数很高，在 80km/h 速度多角度碰撞测试中都可以做到毫发无损。但锂电池在有安全措施的保护下，在常见的普通碰撞条件下也容易发生着火事故，侧面反映了其安全性上天然的劣势。

车辆面对事故和极端情况还安全吗？——储氢瓶被贯穿火烧不易炸裂，密闭空间氢气泄露难引发爆炸

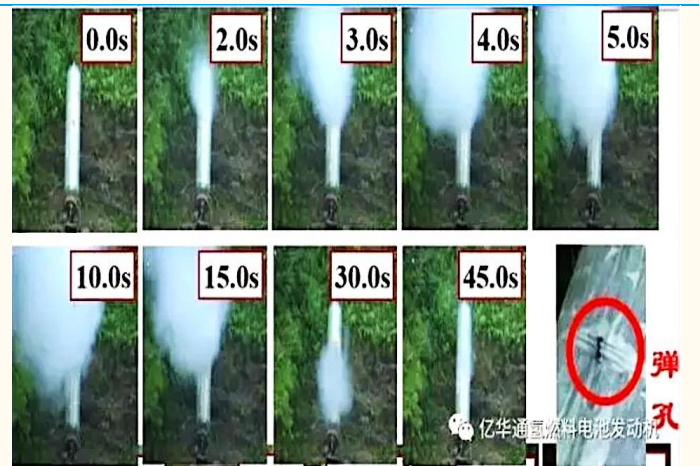
- 国内外著名的燃料电池车厂商都针对储氢瓶的安全性在各类条件下做了多方面实践测试，多角度的展示了在现在氢气储备和使用技术下氢能的安全性是十分有保障的。通过实际的安全试验和模拟，不难看出氢气实际上有着可以与传统燃油比肩的安全性，甚至更加安全。现实条件下氢气爆炸并非想象中的那么容易实现。
- **储氢瓶子弹贯穿试验：**丰田公司首先对所有可能的破坏风险进行了理论评估，然后进行了严苛的实际验证，对所有可能的破坏方式进行了验证，包括了射击试验、长期高压下的充气放气试验、极端温度环境测试、化学品浸润试验等等。近期公布的视频展示了其车载储氢罐在大口径来复枪射击时的安全性能，结果显示并没有出现观众预期的起火甚至爆炸。结果表明，实验条件下罐体并没有损坏，而氢气则在 15 至 30 秒时间内完全排除，这不会引起大的灾难。结果还表明，只有 5mm 口径的子弹才能贯穿现有的储氢罐，这是大口径狙击步枪所用的子弹。
- 国内的厂商也做过类似的测试，用子弹打穿 35MPa 储氢瓶的 45 秒照片，可以得出：当储氢瓶被子弹击穿时没有发生氢气爆炸，当子弹击穿储氢瓶时氢气是向上喷射，氢气喷射的速度极快，整瓶氢气通过一个子弹孔 45 秒就排放完成。

图表 20: Mirai 储氢瓶子弹贯穿试验



来源：TOYOTA，国金证券研究所

图表 21: 国内厂商储氢瓶子弹贯穿试验



来源：亿华通官网，国金证券研究所

- **储氢瓶火烧试验：**将储氢瓶进行火烧，氢气燃烧前一秒火焰最大，一秒之后火焰骤降，基本 5-15 秒后火焰熄灭，最重要的一点，即便是火烧氢瓶，储氢瓶依旧没有出现爆炸。

图表 22：储氢瓶火烧试验



来源：亿华通官网，国金证券研究所

- 储氢瓶泄漏点火试验：**以氢燃料电池汽车为例，与燃油车对比进行燃料泄露点火试验。氢燃料电池汽车火焰是从后备箱向上窜，燃油车是油向下流淌，导致火焰从整车下部着火；一分钟后氢燃料电池汽车依旧只是氢气向上燃烧，对汽车基本没有损坏，而此时燃油车早已成为一个大火球，只剩下燃烧后的车架。

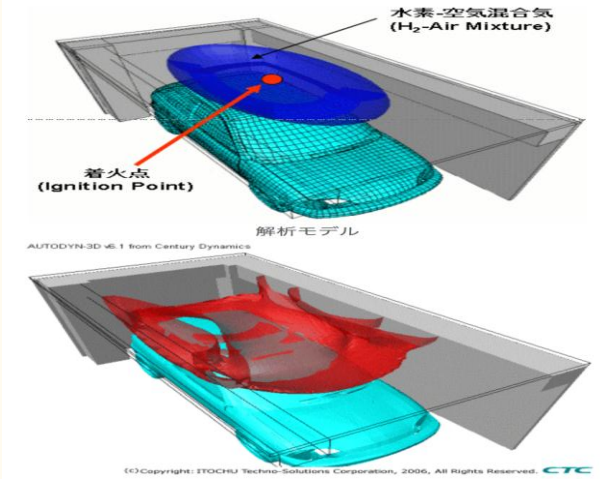
图表 23：储氢瓶泄露点火试验



来源：亿华通官网，国金证券研究所

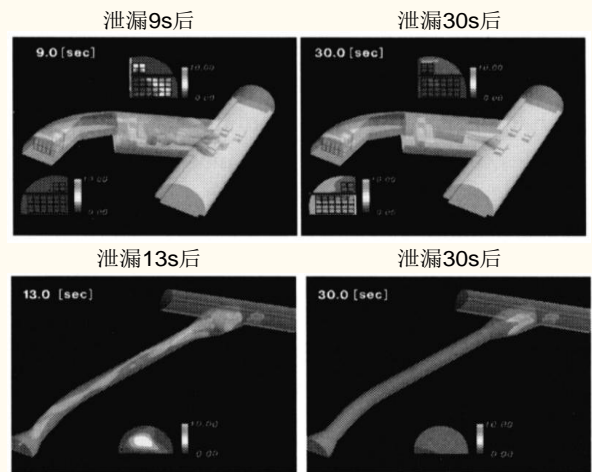
- 密闭空间氢气泄露试验：**在日本政府推进氢燃料电池的过程中，对于氢气的安全性，有关方面进行了大量的试验。其中对在相对密闭场所，如地下停车场和隧道当中发生氢气泄露的情况做过试验模拟，总体来说即使在相对密闭空间由于氢气的扩散性强，发生爆炸的可能性不大。
 - 伊藤忠 Techno-Solutions 株式会社进行的《地下停车场氢气爆发过程解析》研究表明，在地下停车场中因燃料电池车中氢气泄露而导致的爆炸，需要比较强的限定条件。因为氢气分子扩散速度很快，为的 3.7 倍，形成引起爆炸的有效浓度并不容易。如果规模（车位）比较大的停车场（小区的停车场）。除非停车场为每台车建造了一个个小房间，否则不太容易出现局部氢气浓度过高的现象。氢气泄露后，会漂向空间的上方，除特殊情况外（比如说车库照明系统漏电），一般是一种远离火源的机制。另外，当氢燃料电池车大规模普及后，停车场等社会基础设施肯定会增加应对于氢气泄露的检测设备和换气设备等，建立起有效的报警防范机制。
 - 财团法人日本自动车研究所进行的《隧道内的氢气安全性的计算机模拟研究》显示，即使车辆在隧道内发生大量氢气泄露，由于隧道空间相对宽广和有通风设备的存在，几乎在不到 20s 的时间内，泄露的氢气就可以完全排空，很难达到爆炸极限。

图表 24：地下停车场氦气泄露过程模拟



来源：《地下停车场氦气爆发过程解析》，国金证券研究所

图表 25：不同类型隧道氦气泄露模拟



来源：《隧道内的氦气安全性的计算机模拟研究》，国金证券研究所

加氢基础设施安全吗？——已有相关技术规范指导，加快健全行业标准体系

- **加氢站是构建未来燃料电池汽车网络的重要环节。**随着加氢技术的不断进步，气态加注从 35MPa 逐渐提升到 70MPa，使得加注质量增加、续航里程更长，同时，新的加氢技术对于加氢站的安全距离等也带来了新的挑战。
 - 加氢站有两种主要的建设模式：站内制氢和外供氢模式。目前世界上大多数加氢站采用的是站内制氢模式，我国受制于站内制氢的成本问题，仍然以外供氢模式为主；
 - 按照加氢站的不同形式分类，加氢站可以分为：固定式和移动式，其中移动式加氢站又可以分为移动撬装式和加氢车两种，移动加氢站具有机动灵活、加注能力高、性能可靠、使用简单方便的优点。这几种形式可以和站内制氢以及站外供氢的模式进行有机混合。例如，丰田在澳洲推出 Mirai 的同时，也建设了移动式氢气加氢站，相当于半自动拖车，生产及压缩氢气，并输送至冷却的瓶子中。

图表 26：5 月首套 500kg/d 撬式加氢站落户大洋电机



来源：氢枫能源官网，国金证券研究所

图表 27：氢枫能源（十堰）东风特汽加氢站建设项目

日加氢规模	500kg
加氢车位	3 台
加氢撬	1 组 (500Nm ³ /h)
配电箱	1 组
其他	值班控制室、站区给排水以及消防
占地面积	1575 平方米

主要规划依据 《中华人民共和国城乡规划法》、《国有土地使用证》、《加氢站技术规范》、《建筑设计防火规范》

来源：十堰市规划局，国金证券研究所

- **目前撬装式加氢站是发展的重点，其安全性要求的复杂性相较于固定式的加氢站较低，较易满足。**随着加氢站制造安装技术的发展和革新，并依据加氢站站工艺流程及控制要求，将一些设备控制元件集成安装在一块底座上，组成可移动的特定功能的加氢站已成为趋势，其优点是结构紧凑，工厂制造安装，质量容易得到保证，节约大量土地，减少投资成本，且安全可靠，利于操作和维护。
 - 撬装式加氢站设备是指将储氢罐内的氢燃料经管路、低温泵、计量系统等元件注入到汽车燃料电池车用瓶中的专用装置。主要设备包括：氢燃料储存系统、管路系统、潜液泵、流量计量系统、站控系统等设备，并将各系统安装在撬体内。

图表 28: 撬装式加氢站设备概述

加液	由氢燃料低温潜液泵通过加注机将储罐内加注到汽车储氢瓶内
卸车	有两种卸车方式，一种是利用自增压将槽车内的氢燃料卸至储罐内，另外一种是利用氢燃料低温潜液泵，将槽车内的燃料抽至储罐内
增压	将储罐内部分氢气通过气化调压后注入储罐，调整储罐内压力达到设定值
调温	由氢燃料低温潜液泵将储罐内部分氢气抽出，通过氢气增压器注入储罐，调整储罐温度到达设定值

来源：公开资料，国金证券研究所

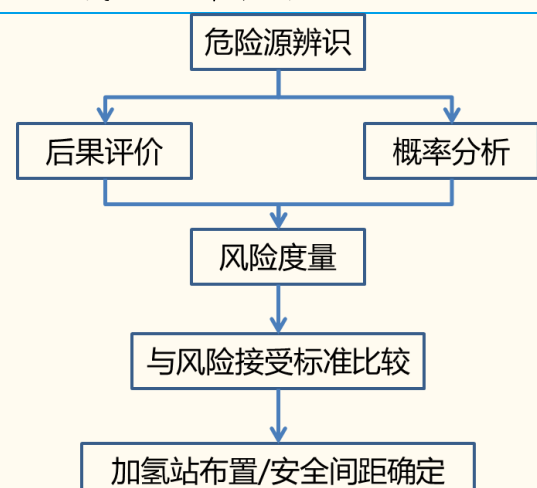
- 作为新兴的能源基础设施，不同于以往的加油加气站，加氢站的安全设计需要根据加氢站自身的设备组成和加氢模式建立相应的技术规范。世界上已经有 10 多个国家制定了加氢站法规，包括美国 NFPA2、英国 BCGA CP33、法国 la rubrique N1416、德国 VdTÜVMerckblatt 514、意大利 Regulation 2006-08-31、韩国 KGS FP216 以及日本“高压燃气保安法”，但仅美日涉及液氢。我国也于 2010 年颁布了《加氢站技术规范》(GB 50516—2010)，其中的标准和要求等主要参考了制氢站的标准，结合原有的《建筑设计防火规范》，共同对国内加氢站建设起到了指导作用。
- 《加氢站技术规范》(下称《规范》)编制组结合我国加氢站设计、建设的实际情况，主要对于基本规定、站址选择、总平面布置、加氢工艺及设施、消防与安全设施、建筑设施、给水排水、电气装置、采暖通风，施工、安装和验收、氢气系统运行管理等设置了相关的规范要求。
- 基本规定：加氢站主要设备包括管束拖车、压缩机、储气瓶组、加气机，在《规范》中对于各个设施的大致布置方式以及型号等进行了特别说明，此外，《规范》中还特别强调在储气瓶周围建设防爆墙，当环境风速小于 9m/s 时，能够承受爆炸产生的巨大超压，进行防爆保护。

图表 29: 2010《加氢站技术规范》对设备的要求

组成	参数
管束拖车	9 个气瓶 容积 2250L，质量 28180kg
压缩机	2 台 单台流量 28kg/h
储气瓶组	9 个气瓶，布置方式 3*3
加气机	加气机 1 台，加气枪 2 个，布置在左右两侧

来源：2010《加氢站技术规范》，国金证券研究所

图表 30: 加氢站风险评价过程



来源：浙江大学，国金证券研究所

- 站址选择：在城市建成区内不应建立一级加氢站、一级加氢加气合建站和一级加氢加油合建站。在城市建成区内的加氢站等。宜靠近城市道路，但不应设在城市干道的交叉路口附近。

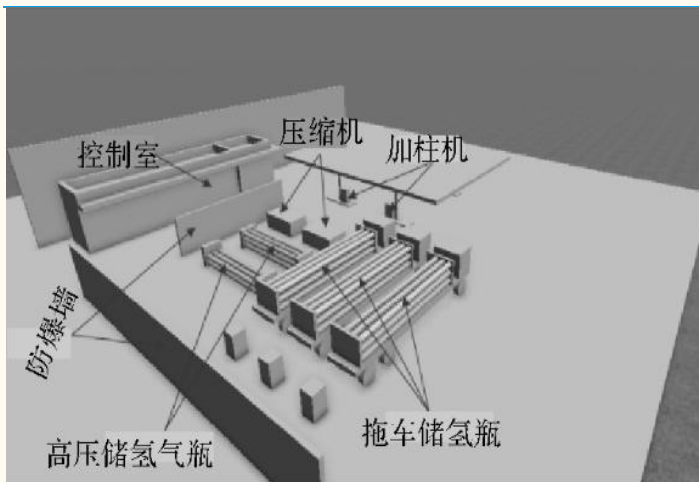
- **报警装置：**按照压力等级的不同，储氢罐和储氢瓶组应分别设有各自的超压报警和低压报警装置；储氢罐或储氢瓶组邻近处，应设置火焰报警探测器。氢气压缩机间、压力调节器间、制氢间等房间顶部容易积聚泄漏氢气的场所，应设置氢气浓度超限报警装置，当空气中氢气含量达到 0.4%时报警，达到 1%时启动相应的事故排风风机。
- **消防设施：**加氢站、加氢加油合建站、加氢加气合建站应配备相应的消防给水系统。每 2 台加氢机至少配置 1 只 8kg 手提式干粉灭火器或者 2 只 4kg 手提式干粉灭火器；可燃气体压缩机间应按照建筑面积 50m² 配置 1 只 8kg 手提式干粉灭火器，总数不得少于 2 只。
- **加氢站防火间距：**根据我国《加氢站安全技术规范》的规范和标准，设计中特别注意拖车之间、压缩机和高压储气瓶之间、以及控制室和压缩机之间的防火间距。此外，加气机也需置于安全位置。

图表 31：加氢站站设备之间的安全距离

	最小间距	设计
储气设备	1.5M	3M
储气设备和压缩机	3M	3M
储气设备和加气机	6M	17.5M
储气设备和站房	5M	11.4M
压缩机和加气机	4M	16M
压缩机和站房	5M	5.8M
加气机和站房	5M	7.5M

来源：《加氢站安全技术规范》，国金证券研究所

图表 32：加氢站简化 3D 模型



来源：国金证券研究所

图表 33：各国规范的主要安全距离对比

类别	控制要求	中国	美国	德国	日本	英国
站内距离 (m)	限制距离 站内明火	12-14*	12	1-5	8	5
	布置距离 氢设备之间	3-15	/**	0.5-1	/	/
		氢与非氢设备之间	4-8	/	2	/
	保护距离	设备与道路	2-5	3	/	3
与厂房/仓库		5-15	0(2h***)	5	/	/
站外距离 (m)	与站外建筑	12-50	2(2h)	/	/	/
	与站外明火	20-40	3-4.6	/	/	8

注：*明火按站内的燃气（油）热水炉、燃气厨房进行取值；**由于国外引入风险评估，部分数据未作强制规定，按评估结果确定；***美国规范要求对象的建构筑物耐火时间不低于 2h

来源：《燃料电池汽车加氢站设计规范安全距离的研究分析》，国金证券研究所

- **加氢装置安全：**加气枪连接到车的加气口后被电磁机构锁住，安全性和电动车充电接头的水平相当。同时加气枪具有单向阀的功能，在加气头出现损坏情况下，防止气体向外泄漏并提高加气头的使用寿命。管路电磁阀，在给气瓶充气时，可有效防止气体进入电池。值得一提的是，日本最新法律规定，用户不允许自己操作加氢设备，而应由专业工作人员完成加氢工作，也是出于防止事故发生的考虑。

图表 34：加氢装置操作示意图

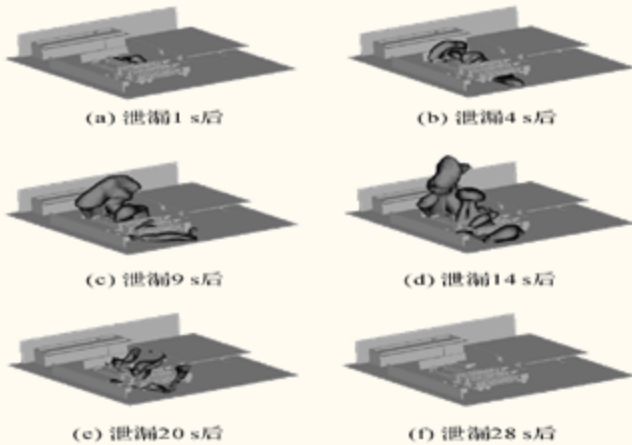


来源：国金证券研究所

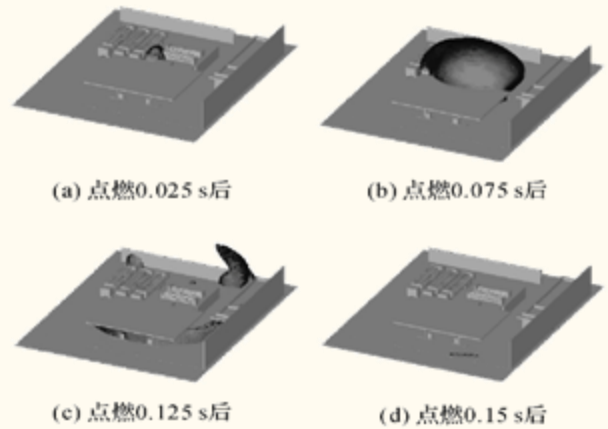
- **加氢站爆炸事故模拟证明安全规范切实有效。**加氢站内存储的大量高压氢气若发生泄漏，极易形成大规模可燃气体云，一经点燃便会引发剧烈的爆炸事故，是最主要的安全威胁。国内研究机构有对于加氢站高压氢气泄漏爆炸事故进行模拟研究，对于防爆区域划分、事故防范控制措施制定等方面都具有指导和检验意义。
- **泄漏情况模拟：可燃气体云快速上升，难以横向扩散。**如图所示为高压储氢气瓶泄漏后不同时刻的氢气可燃气体云图（氢气体积分数为 4%-74%）。可以看出：
 - 在泄漏结束（14s）前，可燃气体云体积持续增大，且因为氢气密度远小于空气，呈现不断上升的状态。由于受障碍物的限制，防爆墙和压缩机附近的可燃气体云主要向上扩展，拖车储气瓶附近的氢气可以沿拖车底部及气瓶间空隙横向扩散。
 - 同时，较小的环境风速对氢气水平方向扩散速度影响甚微，可燃气体云几乎垂直上升。在泄漏停止（14s）后，氢气进一步扩散，体积分数不断减小，可燃气体云体积逐渐减小，至泄漏 28s 后，完全消失。
 - 总体而言，高压氢气泄漏和可燃气体云扩散速度极快，当环境风速较小时，可燃氢气云始终被限制在储氢气瓶、压缩机和拖车储气瓶所围成的高拥塞度障碍区域，并未大规模扩散至加注机和控制室等人员较密集的场所。
- **引燃爆炸情况模拟：高压储气瓶和防爆墙的承压能力较强。**若在泄漏形成氢气可燃气体云的基础上点燃氢气，就会发生爆炸事故。在泄漏结束时（14s）可燃气体云体最大，被点燃的概率也最大，选择在此时将氢气点燃进行爆炸模拟。压缩机内含有大量电气、电子设备，容易形成电火花而点燃氢气，将点火位置设定为压缩机附近，结果显示：
 - 高压储气瓶局部最大的超压为 350kPa，小于能够承受的最大压力，因此爆炸后不会造成其他气瓶的损坏，引发进一步的连续爆炸事故而产生更严重的后果。
 - 防爆墙的局部最大超压为 60kPa，低于可致其破坏的超压值。随着时间的推移（0.09-0.15s），超压波可以越过防爆墙向外继续扩张，但强度逐渐减弱，直至 0.15s 完全消失殆尽。

- 自点燃后，危害区域可在 0.15s 的时间内由点燃位置以不规则形状向外扩张，在向控制室以及拖车储氢瓶方向传播过程中，受障碍物的阻挡迅速消退，难以对周边人员和设施造成更大破坏。
- 综合以上可以看出，由于氢气的扩散速度快，即使发生泄露也主要是垂直上升扩散，不会蔓延到周边地区。且在可燃气云被引燃爆炸的情况下，只要站内设施的布置符合安全距离规定，防爆墙设置合理，可以确保事故范围和影响在有限范围内，说明加氢站的建设规范合理有效，能够保障其整体安全性。

图表 35：不同时刻的氢气可燃气云扩散模拟图



图表 36：不同时刻的爆炸危害区域模拟图



来源：《加氢站高压氢气泄露爆炸事故模拟及分析》，国金证券研究所

来源：《加氢站高压氢气泄露爆炸事故模拟及分析》，国金证券研究所

- 建立和健全标准规范体系是加氢站行业安全、健康发展的重要保障。目前我国 2010 年最新的《加氢站技术规范》GB50516-2010 距离现在已有 5 年，如对液氢的严格管控已经影响到氢气的储运效率。而日本在标准方面响应相当迅速，日本经济产业省根据实际发展情况于 2014 年 5 月公布了《高压气体安全法》及其“容器安全规则”、“再检查方法”等相关技术标准修订版，修订后放宽了此前日本“容器安全规则”设置的燃料电池车车载氢瓶单次充气压力的安全上限值，从以前的 70MPa 提高到 88MPa，从而使燃料电池车的续驶里程提高 20%。目前国际标准规范不断更新，我国在标准方面应该加快缩小与发达国家存在的差距，促进整个行业的发展。

长期竞争力评级的说明：

长期竞争力评级着重于企业基本面，评判未来两年后公司综合竞争力与所属行业上市公司均值比较结果。

公司投资评级的说明：

买入：预期未来 6—12 个月内上涨幅度在 15% 以上；
增持：预期未来 6—12 个月内上涨幅度在 5%—15%；
中性：预期未来 6—12 个月内变动幅度在 -5%—5%；
减持：预期未来 6—12 个月内下跌幅度在 5% 以上。

行业投资评级的说明：

买入：预期未来 3—6 个月内该行业上涨幅度超过大盘在 15% 以上；
增持：预期未来 3—6 个月内该行业上涨幅度超过大盘在 5%—15%；
中性：预期未来 3—6 个月内该行业变动幅度相对大盘在 -5%—5%；
减持：预期未来 3—6 个月内该行业下跌幅度超过大盘在 5% 以上。

特别声明:

国金证券股份有限公司经中国证券监督管理委员会批准，已具备证券投资咨询业务资格。

本报告版权归“国金证券股份有限公司”（以下简称“国金证券”）所有，未经事先书面授权，本报告的任何部分均不得以任何方式制作任何形式的拷贝，或再次分发给任何其他人，或以任何侵犯本公司版权的其他方式使用。经过书面授权的引用、刊发，需注明出处为“国金证券股份有限公司”，且不得对本报告进行任何有悖原意的删节和修改。

本报告的产生基于国金证券及其研究人员认为可信的公开资料或实地调研资料，但国金证券及其研究人员对这些信息的准确性和完整性不作任何保证，对由于该等问题产生的一切责任，国金证券不作出任何担保。且本报告中的资料、意见、预测均反映报告初次公开发布时的判断，在不作事先通知的情况下，可能会随时调整。

客户应当考虑到国金证券存在可能影响本报告客观性的利益冲突，而不应视本报告为作出投资决策的唯一因素。本报告亦非作为或被视作出售或购买证券或其他投资标的邀请。

证券研究报告是用于服务机构投资者和投资顾问的专业产品，使用时必须经专业人士进行解读。国金证券建议客户应考虑本报告的任何意见或建议是否符合其特定状况，以及（若有必要）咨询独立投资顾问。报告本身、报告中的信息或所表达意见也不构成投资、法律、会计或税务的最终操作建议，国金证券不就报告中的内容对最终操作建议做出任何担保。

在法律允许的情况下，国金证券的关联机构可能会持有报告中涉及的公司所发行的证券并进行交易，并可能为这些公司正在提供或争取提供多种金融服务。

本报告反映编写分析员的不同设想、见解及分析方法，故本报告所载观点可能与其他类似研究报告的观点及市场实际情况不一致，且收件人亦不会因为收到本报告而成为国金证券的客户。

本报告仅供国金证券股份有限公司的机构客户使用；非国金证券客户擅自使用国金证券研究报告进行投资，遭受任何损失，国金证券不承担相关法律责任。

上海

电话：021-60753903

传真：021-61038200

邮箱：researchsh@gjzq.com.cn

邮编：201204

地址：上海浦东新区芳甸路 1088 号

紫竹国际大厦 7 楼

北京

电话：010-66216979

传真：010-66216793

邮箱：researchbj@gjzq.com.cn

邮编：100053

地址：中国北京西城区长椿街 3 号 4 层

深圳

电话：0755-83831378

传真：0755-83830558

邮箱：researchsz@gjzq.com.cn

邮编：518000

地址：中国深圳福田区深南大道 4001 号

时代金融中心 7BD