

DOI: 10.16369/j.oher.issn.1007-1326.2021.03.016

·应急管理·

上海市汽车加氢站安全风险调查研究

Investigation on safety risk in hydrogen refueling stations in Shanghai

周清, 刘堃, 应悦

ZHOU Qing, LIU Kun, YING Yue

上海市应急管理事务和化学品登记中心, 上海 200020

摘要:目的 通过调查上海市汽车加氢站,分析其安全风险,为防范加氢行业重大风险提供参考。方法 结合现场调查、系统分析、文献研究等研究方法,对上海市4座对社会公众开放运营的汽车加氢站进行现场实地走访调查,对相关人员进行访谈,收集加氢站的相关文献资料,分析汽车加氢站的安全风险。结果 4座加氢站均为站外供氢加氢站和高压气态氢加氢站,在总体布局、设施设备、工艺、安全设施等方面基本符合现行加氢站相关的标准、规范要求,运营模式较为合理。加氢站防护墙的长度、强度以及卸气软管的承压性能、防脱落甩动功能是影响卸气环节安全的关键因素;压缩机膜片、储存容器及其附件的不安全状态及压缩机部件的兼容性问题会引起压缩环节、储存环节氢气泄漏;软管密封、拉断阀问题会导致加注环节产生安全隐患;安全管理不到位会增大事故发生的可能性。结论 汽车加氢站企业需要从卸气、压缩、储存、加注及管理环节进一步完善安全措施,降低事故发生的可能性,确保加氢站运行安全。

关键词:汽车加氢站;安全风险;调查分析;安全措施

中图分类号: F530.69 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-1326(2021)03-0319-04

引用:周清,刘堃,应悦.上海市汽车加氢站安全风险调查研究[J].职业卫生与应急救援,2021,39(3):319-322.

氢能作为一种清洁、高效、安全、可持续的新能源,近年来已逐步被视为21世纪最具发展潜力的清洁能源之一。我国对加氢站等基础设施的建设始于“十一五”计划期间,最早的加氢站为建成于2006年的北京永丰加氢站,但其后多年加氢站发展较为缓慢。2016年,国家“十三五”科技创新规划将氢能、燃料电池列为新一代引领产业变革的颠覆性能源技术^[1]。自2017年起,相关行业发展进入快车道。为了加大发展氢燃料电池汽车产业力度,2017年9月上海市政府发布规划,提出“近中远三期规划,带动未来社会能源和动力转型”的发展目标^[2]。

尽管我国近年来在加氢站的建设上突飞猛进,数量迅速增加,但涉及氢气使用的加氢站、氢气储罐在日常运行过程中仍存在安全隐患,有发生事故的可能。世界各地如挪威、韩国等国近两年已接连发生氢气爆炸事故^[3]。为避免类似事故发生,本研究以上海市汽车加氢站为例对其安全风险进行调查,以期风险防范提供参考。

1 对象与方法

1.1 研究对象

随机选取上海市已建好的4座对社会公众开放运营的加氢站为研究对象。4座加氢站均是采用站外供氢模式的气态氢气加氢站。调查主要聚焦于加氢站的平面布局、工艺流程、设施设备、安全设施等方面。

1.2 研究方法

结合现场调查、系统分析^[4]、文献研究^[5]等研究方法,对上海市部分已建汽车加氢站进行现场实地走访调查,对相关人员进行访谈,收集加氢站发展、建设、研究的相关文献资料,从而对汽车加氢站的安全风险进行分析。

2 结果

2.1 上海市加氢站建设现状及发展趋势

本次调查发现:目前上海市已建好9座加氢站,其中4座对社会公众开放商业化运营,另5座为企业内部加氢站,4座对社会公众开放的加氢站均采用站外供氢模式的气态氢气加氢站。其中2座为加油加氢合建站,1座为常规加氢站,1座为加氢

作者简介:周清(1978—),女,硕士,工程师

充电合建站。

上海市在 2017 年规划中提出“近期至 2020 年建设加氢站 5~10 座；中期至 2025 年建设加氢站 50 座；远期至 2030 年面向私人用户进一步推广市场，带动未来社会能源和动力转型”的发展目标^[2]。结合各方数据可知，上海市拟规划的加氢站超过 70 座，其中：嘉定区规划数量为 18 座，为全市最多；其次为浦东新区，数量为 13 座；第三为青浦区，数量为 8 座。以上规划选址主要是嘉定汽车产业园、虹桥、临港等重点发展区域。另外奉贤区目前已建成 3 座，总数也可达到 8 座，其他各区除崇明区仅规划 1 座，数量基本维持在 6~7 座。

2.2 加氢站安全风险分析

2.2.1 加氢站类型及主要工艺

按照分类方法，加氢站可以分为多种类型。按照制氢地点分，业界通常将加氢站分为站外供氢加氢站和站内制氢加氢站两种；按照氢气储存状态分，通常将加氢站分为高压气态氢加氢站和液氢加氢站两种。本次调查的对社会公众开放商业化运营的 4 座加氢站均为站外供氢加氢站和高压气态氢加氢站。其工艺流程见图 1^[6]。

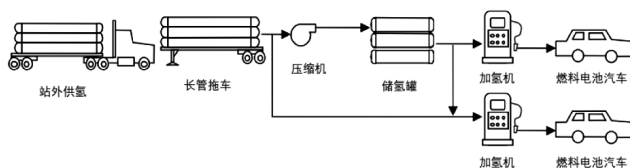


图 1 加氢站工艺流程图

2.2.2 加氢站主要危害因素

由于加氢站工艺基本相同，因此各座加氢站其对人体的主要危险有害因素也是类似的。本次调查的 4 座加氢站的危险有害因素主要源于氢的特性。氢气最小点火能量仅为 0.017 mJ，极易燃烧，与空气混合易形成爆炸性混合物，遇明火、高热能引起爆炸；氢气比空气轻，易通过多孔材料、装配面或密封面泄漏，而一旦泄漏后极易扩散，遇点火源能引起燃烧爆炸；氢还可与钢中的碳反应生成甲烷，造成钢脱碳和微裂纹的形成，引起钢性能不可逆地劣化，此即为“氢脆”，且温度越高、氢分压越大，应变速率就越大，金属的氢脆也越严重。

资料检索显示：分别从日本高压气体事故案例数据库、美国氢经验教训数据库、欧盟氢事故数据库中搜集到 25 起、13 起、4 起（其他 1 起）共 43 起涉及汽车加氢站的事故案例^[7-9]，其中 8 起事故引起了火灾爆炸，其余 35 起事故均引起了不同程度的氢气泄漏。进一步分析事故原因，发现事故主要

是站内各类高压涉氢设备及部件损伤、磨损，或者人员误操作等原因造成，从而引起氢气泄漏；若遇点火源，则迅速引发火灾爆炸事故。除了以上危险，加氢机加注氢气时，会因“焦耳-汤姆生效应”使加注设备或连接部分温度过高，可能使充装人员发生灼烫事故的风险；氢燃料电池汽车在加注过程中，若存在车辆进出站时车速过快，或存在阻碍驾驶员视线、作业人员随意穿越车行通道等情况，则可能发生车辆伤害事故；若氢气发生大量泄漏，还会使空气中氧含量下降，造成人员缺氧窒息等。

2.2.3 加氢站各环节安全风险分析

从现场调查的上海市加氢站来看，加氢站的安全风险须从加氢站整体系统的各个环节，即卸气环节、压缩环节、储存环节、加注环节、管理环节进行分析，其安全隐患见表 1。

表 1 上海市加氢站安全分析

环节	安全隐患
卸气环节	防护墙设置的长度较短、强度不够，软管承压性不够、软管易脱落甩动
压缩环节	膜片老化，产生裂纹等损坏，导致泄漏
储存环节	高压储存容器及其附件等损坏，导致泄漏
加注环节	软管密封性、加氢软管拉断阀损伤
管理环节	安全管理制度、操作规程、事故应急预案、安全相关培训缺失

(1) 卸气环节。卸气环节的安全把控，防护墙长度、强度，软管承压和软管防脱落、防甩动是安全风险的关键控制点。

防护墙是加氢站长管拖车卸气端的重要安全设施。本次调查发现：现场部分站点设有多个卸气端车位时，防护墙设置的长度较短。我国 GB 50516—2010《加氢站技术规范》中对于防护墙长度的要求是“长度不应小于长管拖车车宽的 2 倍”^[10]，但是对于存在多个卸气端车位的情况，防护墙的长度究竟是以单辆车宽的 2 倍还是所有车位数量车宽的 2 倍来衡量，则没有明确。当有多个卸气端车位，多辆长管拖车同时卸气时，如按照单辆车宽的 2 倍来设置防护墙，则防护墙的防护范围会进一步缩小。

同时，防护墙强度导致的安全问题也同样值得关注，若强度不达标，一旦发生事故后非但无法起到原本的防护效果，而且还会造成次生事故。我国现行 GB 50516—2010《加氢站技术规范》，仅要求设置为钢筋混凝土实体墙^[10]，而在韩国《KGS FP216》^[11]和日本《通用高压气体安全规定》^[12]中，除了要求采用钢筋混凝土结构或相同强度结构外，还要求防护墙厚度达到 12 cm 以上，《KGS FP216》对防护墙的钢筋直径、钢筋放置间隔、回填深度等具

体安装也提出了明确要求,而美国《NFPA 2》^[13]及国际标准 ISO/TS 19880-1^[14] 则对防护墙的耐火等级分别提出了 2 h 及 30 min 的要求。本次文献调查则发现我国标准规范中暂无相应防护墙强度的要求。

本次调查发现,部分加氢站的软管两端拴挂防脱落防甩动钢丝绳,非整条软管拴挂;钢丝编织绳与软管的接触面较大且有固定,可以在一定程度上有效地防止软管的脱落和甩动,但该方式可能导致软管断裂时逐步丧失防脱落防甩动功能,所以加氢站企业仍须加强软管防脱落防甩动的安全管控。软管承压性不够和软管脱落甩动的发生多是使用质量不合格的软管引起的,也很容易导致泄漏事故的发生。对软管的详细要求可参见美国《NFPA 2》和国际标准 ISO/TS 19880-1。

(2) 压缩环节。压缩环节同样也是汽车加氢站工艺流程中的重要一环,核心设备压缩机是汽车加氢站的三大关键单体设备之一,承担了氢气增压的重要作用。本次调查发现,上海市加氢站主要采用的是隔膜式压缩机,其核心部件是膜片,膜片的状态决定了压缩机的工作效率,膜片的老化会慢慢减少压缩机的处理气体量;膜片出现裂纹和损坏还会破坏压缩机的密封性,造成氢气的泄漏。因此,对于隔膜压缩机膜片等核心部件的日常检查、定期更换是压缩机安全运行的重要因素。

原先加氢站多采用整体进口的压缩机,近年来国内压缩机制造企业的技术逐渐成熟。上海市也有部分加氢站使用国产化或部分国产化的压缩机,对于这类压缩机来说,多是采用了进口的压缩机机头等核心部件,配套部件则采用国内采购或组装。因此,在压缩机运行状态下,国产部件与进口设备之间的匹配性、兼容性、耐久性等方面也不容忽视。

(3) 储存环节。储存环节中,高压储存容器及其附件的安全问题不容忽视,如果发生泄漏,短时间内的泄漏量会很大,引发燃爆事故的后果相比其他设备更加严重。2019年挪威发生的加氢站事故,便是由于高压储氢罐接口处的四个螺栓中有两个螺栓因装配误差造成扭力不足,导致氢气从密封区域泄漏引发爆炸事故。从该起事故可以看到,即使是几个螺栓这类微小部件的装配问题,也可能会引发事故。本次调查发现,上海市加氢站的高压储存容器及其安全附件均经有资质的单位检验合格后再投入使用;但对于需要新增或更换高压储存容器的加氢站而言,高压储存容器本身及其各部件,尤其是密封部件的装配问题仍须重点关注。

(4) 加注环节。加注环节是汽车加氢站工艺流

程的最后一步,涉及的关键设备是加氢机及其相关组件,在加注氢气的过程中将直接面向用户,这一过程的安全状态也易受到站外因素的影响,主要可能因为软管密封性、加氢软管拉断阀损伤等造成安全隐患。根据技术人员的反馈,加氢软管在日常加注过程中的频繁使用,会加快软管本身及其配套密封件的磨损,从而增大软管泄漏的可能性;另外调查还发现,上海市加氢机的加氢软管上均设置有拉断阀,且拉断阀采用了可重复使用的结构,如果拉断阀被拉断分开后其阀件本身或软管等相关组件发生了损伤,重新连接后便会造成氢气的泄漏。

(5) 管理环节。安全管理制度缺失、安全培训教育不到位、安全生产责任制不落实、操作规程不规范、操作性不强均会造成作业人员安全意识淡薄,造成人员操作失误;事故应急预案不完善、缺乏应急演练会使事故发生的可能性进一步增大及事故的后果进一步扩大。本次调查的4个加氢站企业均已建立安全管理制度及台账,总体安全管理状况良好,但随着运行时间增加,仍可能出现安全管理松懈,因此加氢站的安全管理工作必须常抓不懈,防止在制度和操作规程的修订与完善、培训教育、应急演练等方面出现新的问题。

3 防范对策与建议

通过对加氢站各环节安全风险的分析,提出以下防范措施与建议:

3.1 卸气环节

加氢站防护墙长度的设置,建议结合卸气端的车位数量统一考虑,按实际同时卸气的长管拖车的最大车宽2倍来设置防护墙。建议加氢站企业参考国外同类标准、规范,设置防火墙时,选用具有良好防火、防爆,结构强度性能佳的材料,建议相关设计、科研单位可对防火墙的结构强度、耐火等级要求做进一步的研究。加氢站企业应选用具有防脱落、防甩动功能并得到验证的软管产品,卸气作业前做好相关的安全检查并确认卸气软管防脱落防甩动措施的可靠性。

3.2 压缩环节

建议加氢站企业加强对压缩机膜片等核心部件的日常检查,发现核心部件有损耗的应及时更换,严格按照更换周期更换压缩机的核心部件。选择国产化的压缩机产品时,建议关注产品的国产部件与进口设备的匹配性、兼容性问题。

3.3 储存环节

储存容器及其部件的装配单位应选用质量合

格、性能合格且型号与设备相匹配的连接件、密封件等部件;装配人员在装配过程中应严格按照操作规程认真执行,装配完成后进行进一步的验证;加氢站企业应定期请有资质的单位对设备的关键连接部位等处进行专项检查以确保其连接的可靠性、密封性。

3.4 加注环节

加氢软管及其密封件是较易引起氢气泄漏的关键部位。对于软管及其密封件这些关键部位的检测,建议加氢站企业尽量缩短检测周期,严格按照周期进行检查和更换,保存好相关检测、维护、保养及更换的记录。软管拉断阀拉断分开后如重新连接,建议在重新连接后、加注操作前,在操作条件下对其进行相应的安全检查、测试,以确认拉断阀本身或软管等组件是否有损伤。

3.5 管理环节

建议加氢站企业制定完善的安全规章制度、操作规程,定期进行修订;编制事故应急预案,定期进行演练;加强加氢站员工的安全教育培训,提高工作人员的安全防范意识;规范加注氢气的作业流程,严格执行加注过程中的各项检查。

4 讨论

根据全球第13次加氢站评估报告^[15],截至2020年底,全球共建成加氢站553座,另有225座规划中的加氢站。欧洲共有200座加氢站,其中100座在德国。亚洲共有275座加氢站,其中日本142座。北美洲共有75座加氢站,大多数位于美国加利福尼亚州。

中国的氢能燃料电池产业发展自2017年起进入快车道,2019年推动加氢设施建设并被首次写入政府工作报告。加氢站作为氢能产业的基础设施,也迎来了快速发展。截至2020年底,我国已建成加氢站128座^[16]。

本次调查发现,上海市目前已建的4座商业化运营的汽车加氢站在总体布局、设施设备、工艺、安全设施等方面基本符合现行加氢站相关的标准、规范要求,其设施设备具有较好的运行水平,配备了可靠的安全设施,运营模式较为合理,个别加氢站还积累有多年安全运营管理经验,这为未来几年上海市汽车加氢站建设打下了良好的基础。

作为一个相对较新的行业,虽然目前国内外汽车加氢站并未发生过群死群伤等重特大事故,但全国的汽车加氢站还处于起步和发展阶段,汽车加氢站的累计运行时间较短,站点数量较少,体量也较

小,可能有一部分安全问题尚未暴露出来,发生事故的风险仍然存在。从降低事故严重程度的角度出发,建议汽车加氢站企业从减量、降压等方面进行探索研究;从减少事故发生可能性的角度出发,设置多层预防型、控制型、减灾型安全保护措施,开展隐患排查治理,确保汽车加氢站安全运行。

作者声明 本文无实际或潜在的利益冲突

参考文献

- [1] 中华人民共和国国务院. 关于印发“十三五”国家科技创新规划的通知[EB/OL]. (2016-08-08)[2021-01-27]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2016-08/08/content_5098072.htm.
- [2] 汽车信息网. 上海市燃料电池汽车发展规划[EB/OL]. (2020-09-09)[2021-01-27]. <http://www.qcmm.cn/xmyqc/115100.html>.
- [3] 肖海明. 加氢站的安全风险及防范[J]. 石油库与加油站, 2020, 29(4): 28-32.
- [4] 奥慧琦. 系统分析法在火电厂安全性评价中的应用[J]. 通讯世界, 2017(9): 231-233.
- [5] 东阳. 文献研究法辨析[J]. 传播与版权, 2020(4): 15-16; 19.
- [6] 张彦纯. 加氢站主要工艺设备选型分析[J]. 上海煤气, 2019(6): 10-13; 27.
- [7] The High Pressure Gas Safety Institute of Japan. 水素スタンド関連事故情報[EB/OL]. (2020-03-25)[2020-12-17]. https://www.khk.or.jp/hydrogen/accident_information.html.
- [8] H2Tools. H2tools.org. Lessons learned database[EB/OL]. [2020-12-17]. <https://h2tools.org/lessons>.
- [9] European Commission. Hydrogen incident and accident database (HIAD 2.0)[EB/OL]. [2020-12-17]. <https://odin.jrc.ec.europa.eu/giada/>.
- [10] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 加氢站技术规范: GB 50516—2010[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [11] 가스기술기준위원회심의·의결. KGS FP216 제조식수소자동차충전의시설·기술·검사기준 (Facility/Technical/Inspection Code for Fuel Vehicles Refueling by Type of On-Site Hydrogen Production)[S]. 한국가스안전공사, 2020.
- [12] 高压ガス保安協会 (The High Pressure Gas Safety Institute of Japan). 一般高压ガス保安規則[EB/OL]. (2020-08-07)[2020-12-25]. <https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=341M50000400053>.
- [13] NFPA. NFPA 2 Hydrogen Technologies Code[S]. Quincy, MA: NFPA, 2020.
- [14] International Organization for Standardization. ISO/TS 19880 Gaseous hydrogen-fueling stations part1: general requirements[S]. Switzerland: ISO, 2016.
- [15] H2station.org. Record number of newly opened hydrogen refuelling stations in 2020[EB/OL]. (2021-02-15)[2021-04-27]. <https://www.h2stations.org/press-release-2021-record-number-of-newly-opened-hydrogen-refuelling-stations-in-2020/>.
- [16] 人民网. 我国建成加氢站128座[EB/OL]. (2021-04-22)[2021-04-27]. <http://finance.people.com.cn/n1/2021/0422/c1004-32084315.html>.

收稿日期: 2021-03-18