

撬装加氢装置技术方案研究

李雪松

中石化石油机械股份有限公司研究

加氢站之于燃料电池汽车，犹如加油站之于传统燃油汽车、充电站之于纯电动汽车，是支撑燃料电池汽车产业发展必不可少的基石。燃料电池汽车的发展和商业化离不开加氢站基础设施的建设。

加氢站可分为固定式加氢站、撬装式加氢装置和加氢车。固定式加氢站是为氢能汽车、氢气内燃机汽车或氢气天然气混合燃料汽车等储氢瓶充装氢燃料的专门场所，目前我国已建成的加氢站绝大多数均属于此种；撬装式加氢装置，是将制氢装置、储氢装置、加注装置、连接管线和安全设施等集成到一个撬或几个撬，可整体移动；加氢车是为满足不同用途需要而开发，集高压氢气的储存、运输、加载、自增压、卸载和加注功能为一体，适合与固定式加氢站配合，以固定站为母站，以被加注对象的运行范围为服务区域，与母站共同构成小型高压氢气加注网络，在我国上海世博会、深圳大运会期间均有应用。

加氢站按照制氢方式不同又可分为站外制氢加氢站和站内制氢加氢站。站外制氢加氢站是靠高压氢气长管拖车（目前主流方式）、液氢槽车、管道输送供氢。站内制氢加氢站包括电解水制氢加氢站、天然气重整制氢加氢站。

1加氢站国内外现状和存在问题

1.1加氢站发展现状

据统计，2015年全球加氢站数目为54座，2018年底增加到369座，年均增速高达194.4%，其中日本、美国、德国位居前列。目前，我国正在运营的加氢站共有18座，其中固定站9座，撬装站9座（编者注：2018年底数据）。

从全球加氢站建设情况来看，我国加氢站的运营数量仍然比较少，仅占全球的5%左右，但从我国制定的与氢燃料电池汽车相关的政策来看，随着氢燃料电池汽车的加速发展，加氢站的建设速度将不断加快。根据《中国氢能产业基础设施发展蓝皮书》，我国加氢站数量到2020年达到100座，到2030年达到1000座。

表1 中国部分建成运营加氢站

序号	名称	建成年份	供氢方式	加注压力 /MPa	类型
1	北京永丰加氢站	2006	外供/天然气重整/电解水	35	固定
2	上海安亭加氢站	2007	外供	35	固定
3	深圳大运会加氢站	2011	外供	35	固定
4	郑州宇通加氢站	2015	外供	35	固定
5	大连同新加氢站	2016	电解水/外供	35/70	固定
6	佛山丹灶加氢站	2017	外供	35	固定
7	广东云浮加氢站	2017	外供	35	固定
8	常熟丰田加氢站	2017	外供	35	固定
9	江苏如皋加氢站	2017	外供	35	撬装
10	广东沙朗加氢站	2017	外供	35	撬装
11	上海电驱动加氢站	2017	外供	35	撬装
12	上海神力加氢站	2017	外供	35	撬装
13	成都郫都加氢站	2018	外供	35	撬装
14	十堰东风加氢站	2018	外供	35	撬装

1.2建设存在的问题

目前制约我国加氢站建设发展的主要原因之一是加氢站的建设成本过高，以每天加氢能力为1000kg（10h）的固定式35MPa加氢站为例，初始投资金额约为2000万元（不包括土地成本及供氢长管拖车的成本）。首先建设加氢站所需的关键部件没有量产的成熟产品，部分装备部件仍依靠进口，其次土地成本高昂，在申请加氢站建设时，必须申请使用商业用地，如果建设在相对较为便宜的工业用地上，那么建设好的加氢站只能给自己的产品加氢或进行实验，不能公开运营，这些因素是造成国内固定式加氢站建设费用居高不下的重要原因。近年来，撬装加氢装置正在逐渐兴起，在各地逐渐增多。撬装加氢装置相较于固定式加氢站，优点在于投资小、占地面积少、建设周期短。

2撬装加氢装置工艺流程研究

本研究涉及的撬装加氢装置是针对高压气态氢气加注而开发的，主要包括卸气系统、增压系统、冷却系统、储氢系统、加氢系统、控制系统和仪表风系统，要求便于运输和安装。

表2 撬装加氢装置技术参数

序号	项目	参数
1	进气压力	5~20 MPa
2	排气压力	45 MPa
3	排气温度	≤40 ℃
4	加氢机	三线；双枪；工作压力 35 MPa
5	储氢瓶组	工作压力 45 MPa
6	冷却系统	水冷

具体工艺流程：氢气长管车通过管道连接至氢气卸车柱，卸车柱计量之后经过压缩机压缩，储存至储气瓶组，按高、中、低压瓶组顺序向各储气瓶组充气，储存的氢气通过加氢机对车辆进行加注。加氢机加注，先从管束取气，当管束内的氢气压力与汽车上的车载储气瓶压力平衡时，停止从管束取气；切换至储气瓶组，依次从低、中、高压储气瓶组取气。当储气瓶组与车载储气瓶内压力平衡时，开启压缩机，压缩机从管束内取气，进行增压后，直接给加氢机供气，直到汽车加满氢气。瓶组压力低于设置值时，自动启动压缩机补压。

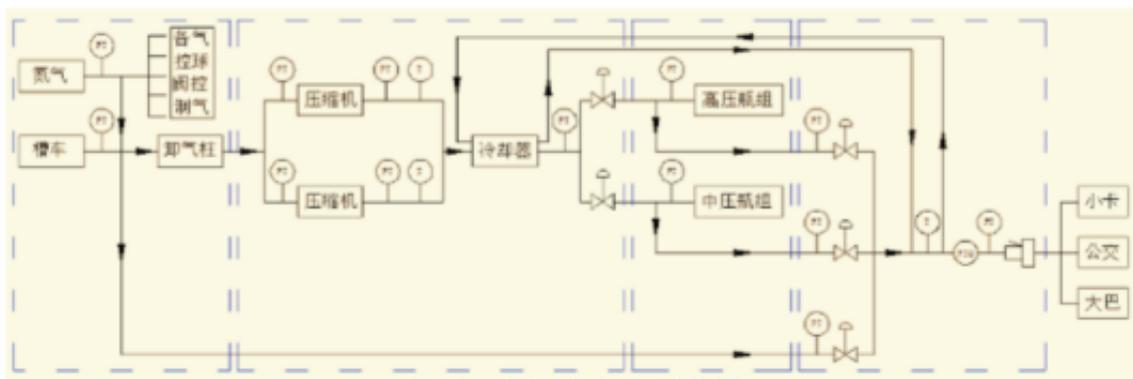


图1撬装加氢装置工艺流程图

3 配套设备的方案研究

撬装加氢装置分为四大部分，包括增压撬、加氢撬、储氢撬、配套撬。增压撬主要为氢气压缩机，加氢撬主要为氢气加注设备，储氢撬主要为现场储存氢气的设备，配套撬主要包括冷却系统、控制系统等其他辅助设施。相关设备的选型分析如下。

3.1 增压撬

增压撬主要为氢气压缩机，压缩机作为加氢站的核心装备，由于加氢站对氢气纯度要求特别高（一般为99.99%），因此要求所用的压缩机均为无油润滑的方式。目前加氢站在用的压缩机主要包括金属隔膜压缩机、电动液驱压缩机和离子压缩机，其中以前两者为主。国内外大部分加氢站均采用美国PDC公司的金属隔膜压缩机，也有少量加氢站采用国产化金属隔膜压缩机；国内张家口、抚顺等地部分加氢站采用了电动液驱压缩机，国外也有少量应用。离子压缩机仅在个别站应用。

从优缺点、成本、应用情况和技术成熟度几方面，对比三类压缩机的特点如下。

表3 三种压缩机技术对比

序号	类型	优势	劣势	应用情况
1	金属隔膜	单机排量大、充装效率高、气质无污染	不宜频繁启动、零部件多、运营成本高	国内外大规模使用、已有少量国内产品
2	电动液驱	造价低、运营成本低、保养方便	单机排量较低、气质轻微污染	日本有使用、其他行业应用成熟、未国产化
3	离子	润滑效率高、运动部件少	配套设备较多、运营成本高	极少量使用、仅德国 Linde 制造

通过三类压缩机对比，建议选择金属隔膜压缩机或电动液驱压缩机。



图2隔膜压缩机（左）和液压压缩机（右）

3.2加氢撬

加氢撬主要为氢气加注设备，即加氢机，其主要部件，包括阀门、管路、质量流量计、电磁阀等的材料均为316L或316SS不锈钢，但上述材料都经过特殊处理以应对氢脆现象，如控制镍、铬含量。依据《GB/T31138-2014汽车用压缩氢气加气机》的要求，加氢机的加氢速度应不大于3.6kg/min，其目的在于防止加注过程中温升过快导致车载供氢系统的损坏，特别是车载储氢罐。

根据氢燃料电池汽车情况，建议采取双阀双枪的模式，一般配备TK16和TK25两种加氢枪，可同时对两辆汽车实现加注。

表4加氢机技术参数

项目	参数
压力等级	35 MPa
加氢枪数量	2把（TK16和TK25各1把）
进气方式	三线
加注速度	2 kg/min
氢气预冷温度	-20 ℃

3.3储氢撬

储氢撬主要为现场储存氢气的设备，有固定式高压储氢容器和无缝管式储氢瓶两种形式。国内目前的固定式高压储氢容器主要以钢带错绕式高压储氢容器为主，容器的寿命较长、容积较大，一般水容积在1~20m³，工作压力为47MPa和98MPa。该容器参考国家标准《GB/T26466-2011固定式高压储氢用钢带错绕式容器》。

无缝管式储氢瓶用于充装高压氢气，由单个或者多个钢质无缝管式储气瓶、管道、阀门与管件等组成，主要用于将氢气由产地运往加氢站或直接放置在加氢站作为站内储氢容器使用。目前长管气瓶水容积一般在500~2000L之间，主要有20MPa和45MPa两种压力等级，45MPa长管气瓶只能用于加氢站储氢，不能用于运输，是目前国内加氢站使用最多的储氢形式。因此，对于撬装加氢装置来说，建议采用管式储氢瓶的储氢形式。



图3固定储氢容器（左）和储氢瓶（右）

3.4配套撬

配套撬主要包括冷却系统、控制系统、辅助系统等，其中冷却系统主要为风冷冷冻机及换热器，设置在加氢机进口端，使氢气预冷至-20℃，保证快速、高效加氢，相关设备国内制造企业较多。

控制系统主要由设备自控系统、安全监控系统、加氢机控制系统组成，各系统共同完成对整个加氢站的集中监视、管理和自动控制，确保系统安全、可靠、稳定的运行。

辅助系统主要包括房体、卸气柱、氮气瓶组、管线阀门、防雷设施、维保工具等。撬装加氢装置的房体设计保证整撬内部通风，整撬噪音 85dB，便于整撬吊装和运移。卸气柱为卸车专用设备，工作压力一般为25MPa。管路和阀门的选择方面要考虑耐高压、抗氢脆的要求。除此以外，为提高加氢装置的安全性，还需要设置氢气集中放散系统。



图4控制系统

4结论

(1) 撬装加氢装置具有占地面积小、投资成本低、施工工期短、设备安装扩容方便的特点，能在较短时间内满足客户的加氢需求，可以作为固定加氢站的重要补充。

(2) 总体上，我国已具备设计建设35MPa加氢站的能力，关键设备如加氢机、压缩机、储氢瓶组均有相应设计制造单位，部分已具备国际水平，但压缩机的设计制造水平距国际水平略有差距。在目前国际流行的70MPa加氢站及关键设备方面，需要加大研发投入力度，争取早日实现装备设计制造的国产化。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/150484.html>