

浅谈加氢站设计与设备选型

樊安林

自贡中至能源设备制造有限公司 四川自贡 643000

摘要:为实现“碳达峰、碳中和”的目标,新能源取代传统石化能源已经成为必然趋势,而氢能是一个不可或缺的二次清洁能源形式,可替代传统石化能源,目前我国已将氢能列入十四五规划,进一步推动了我国氢能行业的发展,形成上游制氢及储运,中游加氢,下游氢燃料电池应用的氢能产业链。各能源巨头正加紧对加氢站进行全面战略布局,加氢站数量也将不断增加。目前国内加氢站建设数量较少并缺乏许多的运用经验,故在加氢站的设计及设备选型上还存在较多的问题。本文通过对加氢站设计规范的应用、工艺设计、设备选型、材料选用以及应采取的安全技术措施等方面的论述,从而总结加氢站的设计及选型要点,对同类工程的设计有借鉴意义。

关键词:加氢站设计;工艺设计;设备选型;氢气压缩机;材料选用

Discussion on the design and equipment selection of hydrogenation station

Anlin Fan

Zigong Zhongzhi energy equipment manufacturing Co., Ltd, Zigong, Sichuan, 643000

Abstract: In order to achieve the goal of “carbon peak and carbon neutrality”, new energy has become an inevitable trend to replace traditional petrochemical energy. Hydrogen energy is an indispensable secondary clean energy form, which can replace traditional petrochemical energy. At present, hydrogen energy has been included in the 14th Five-Year plan, which further pushes the development of the hydrogen energy industry in our country. It forms a hydrogen energy industry chain of upstream hydrogen production, storage and transportation, midstream hydrogenation, and downstream hydrogen fuel cell application. Energy giants are stepping up the comprehensive strategic layout of hydrogen refueling stations, and the number of hydrogen refueling stations will continue to increase. At present, the number of hydrogenation stations in China is small and there is a lack of application experience, so there are still many problems in the design of hydrogenation stations and equipment selection. In this paper, the application, process design, equipment selection, material selection, and safety technical measures of hydrogenation station design are discussed to summarize the key points of hydrogenation station design and selection, which has reference significance for the design of similar projects.

Keywords: Hydrogenation station design; Process design; Equipment selection; Hydrogen compressor; Material selection

1 氢气理化特性

氢气是无色并且密度比空气小的气体,在各种气体中氢气的密度最小在标准状况下气态密度为 $0.0899\text{kg}/\text{m}^3$,液态密度为 $70.85\text{kg}/\text{m}^3$ (-252.77°C , 101kPa),熔点为 -259.2°C ,沸点为 -252.77°C (20.38K),其燃烧速度

较快,爆炸极限范围宽 $4\% \sim 75\%$ (体积),气液体积比大 $974\text{L}/\text{L}$ (15°C 101kPa)。

2 设计标准简析

目前国内有80多项与氢能相关的标准,但大多是关于氢气制取、上游基础设施等方面的。目前加氢站的设计建设中的主要执行标准为《加氢站技术规范》GB50516-2010(2021版),与加油站CNG加气站LNG加气站进行合建站主要执行标准为《汽车加油加气加氢站技术标准》GB50156-2021。

作者简介:樊安林(1982—),男,四川泸州人,工程师,大学本科,主要从事天然气工程、压力管道、压力容器设计与管理工作。

3 工艺设计

我国主要采用高压气态氢进行储运，氢气长管拖车将20MPa的压缩氢气从上游制氢单位运输至加氢站内，再通过加氢站内的卸气柱、氢气压缩机将氢气卸入站内固定高压储氢瓶内进行储存；当车辆加氢时，储气瓶组或拖车内储存的氢气通过加氢机充装到燃料电池汽车的车载气瓶内。加氢站内的高压氢气储存系统的工作压力应根据氢燃料汽车车载氢气的充氢压力进行确定。就目前常用的氢燃料汽车车载氢气瓶压力等级有：35MPa和70MPa。当充氢压力为35MPa时，站内固定氢气储存系统的最大工作压力为45MPa；而当充氢压力为70MPa时，站内固定氢气储存系统的最大工作压力为90MPa。因目前我国在高压储氢技术上还不成熟，所以现在的加氢站储氢压力均按45MPa进行设计。主要工艺如下图1所示。

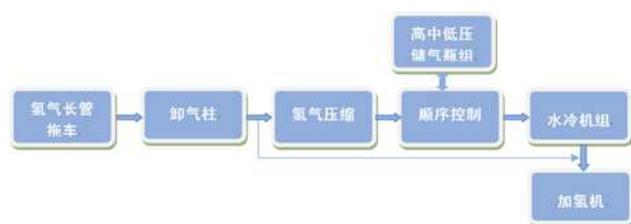


图1 主要工艺示意图

加氢站的储氢应按分级储存方式，将储气瓶组分为高中低压储气瓶，并设置顺序控制盘对其充气 and 取气过程进行自动控制。这种工作方式的优点可以让储气瓶组充气较多，提高其利用率，也可使汽车加气的效率提高。

氢气在加注时需要进行预冷，根据焦耳汤姆逊效应，常温高压氢气在节流工况下，氢气温度发生变化，不同于天然气，高压氢气节流会出现温度上升，称为焦耳汤姆逊负效应，只有温度低于 -80°C 时，才会出现焦耳汤姆逊正效应。基于车载气瓶的安全考虑，需控制加气温度的不超过 85°C ，应对加气机前、压缩机入口、压缩机出口等处的氢气进行冷却。

4 工艺设备选型

4.1 氢气卸气柱

氢气卸气柱放置于卸车位，为长管拖车提供卸气服务，将长管拖车内的纯净氢提供给压缩机进行增压作业。卸气柱上设置有高压软管、拉断阀、过滤器、流量计、高压球阀、止回阀、安全阀、紧急切断阀、就地 and 远传压力测量仪表等；该设备具有定量或定金额的预置卸气功能、可显示即时交易数据、并能回查历史交易数据、具有自动检测故障功能、具有加气安全卸压功能、具有IC卡支付功能等。

4.2 氢气压缩机

氢气压缩机作为加氢站的动力中心，提供氢气增压的重要作用。目前常用的氢气压缩机主要有三种：液驱式压缩机、隔膜式压缩机和离子压缩机。其中液驱式压缩机和隔膜式压缩机主要应用于储氢压力为45MPa的加氢站，而离子压缩机主要应用于储氢压力为90MPa的加氢站。

4.2.1 液驱式压缩机

液驱式压缩机工作原理：由液压油作为驱动介质，通过驱动侧活塞带动气体加压活塞运动实现气体的吸入和推出，气体侧缸筒上安装了单向阀，当活塞回程时气体压力打开吸入侧单向阀，输出侧单向阀处于关闭状态，实现吸气。当活塞推程时，吸入侧单向阀关闭，输出侧单向阀打开实现气体输出。压缩机为双头，活塞一个往复运动可以实现2次加压，加压效率高。具体原理示意图如下图2所示。

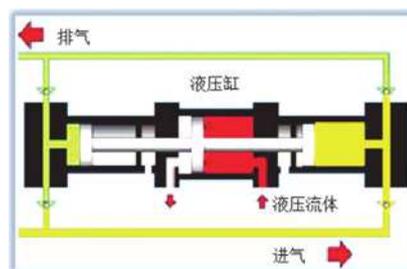


图2 液驱式压缩机工作原理示意图

4.2.2 隔膜式压缩机

隔膜式压缩机工作原理：由电动机驱动曲轴转动，曲轴推动连杆，由连杆推动活塞做往复运动，从而活塞利用液压油对隔膜进行驱动，隔膜沿周边由两限制板夹紧并组成气缸，隔膜由液压驱动在气缸内往复运动，从而实现对气体的压缩和输送。具体原理示意图如下图3所示。

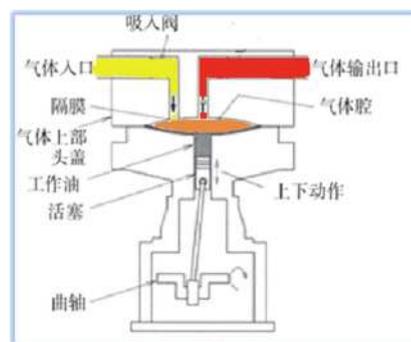


图3 隔膜式压缩机工作原理示意图

4.2.3 离子压缩机

离子压缩机工作原理：使用一种特殊的几乎不可压

缩的离子液替代传统压缩机中的活塞。气体在气缸中随着离子液的上下运动所产生的容积变化而被压缩。离子液是一种具有特殊物性的盐分子。具体原理示意图如图4所示。

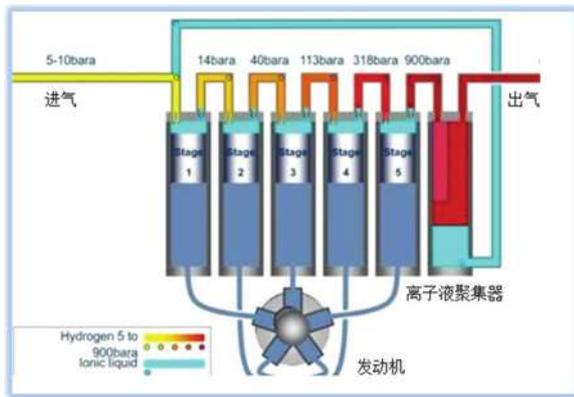


图4 离子压缩机工作原理示意图

4.2.4 各类压缩机性能对比

表1 各类压缩机性能对比表

压缩机类型	优势	劣势
液驱式压缩机	结构简单；易于维护和保养，使用寿命长；体积小，效率高；带压频繁启动对设备寿命影响相对较小。	存在氢气受污染的可能；气缸水平放置，易偏磨，寿命相对较短。
隔膜式压缩机	技术成熟可靠，气体纯度高；气缸散热良好；国内应用案例多。	加工要求高；隔膜比较容易损坏，维护更换费用较高；不适合频繁启停工况，频繁启停会降低使用寿命；停机时为保持膜片不受压，需要泄压，有气损。
离子压缩机	液驱多级压缩，技术要求高；构造简单，维护方便；能耗较低。	设备制造技术水平要求高，设备造价高，后期运营维护费用最高。

国内早期使用的氢压机是依靠国外进口，例如液压式压缩机有德国hofer、美国haskle等，隔膜式压缩机有美国PDC、英国豪顿等。随着国内加氢站的发展，目前我国在液压式压缩机及隔膜式压缩机的技术日趋成熟，部分加氢站实现了氢压机的国产化，中国制造从中国运用开始。为大力推进国产氢压机的制造水平和运行经验，建议加氢站可设置一台进口一台国产方式进行建设。

4.3 加氢机

输入的压缩氢气通过入口截止阀后进入流量调节阀

后，经过滤器、止回阀、电磁阀、流量计、应急球阀、拉断阀、加气软管、加氢枪等加注到汽车气瓶组中。通过电脑控制程序进行充装顺序控制、数量计量，最终结果显示在屏幕上，通过压力表，压力传感器，安全阀对系统压力安全进行控制。

在整个加气过程中，电子计控器通过压力传感器动态全过程监控系统压力，当加气机输出压力达到35MPa或用户设定压力时，电子计控器会自动关闭电磁阀，停止加气。

4.4 储氢系统

储氢系统作为加氢站内的重要储存设备，其承担着氢气的储存和缓冲作用，主要采用高压储氢瓶组和高压储氢罐作为站内固定储氢设施。储氢系统的设计要分析场站的应用场景做出合理选择，为降低加氢站能耗和提高加气效率，通常应采用级联式储氢系统，及设置高中低压进行储气。

4.5 冷水机组

冷水机组为加氢机配套设备，满足加氢机出口温度冷却要求，需控制加气温度不超过85℃，冷却系统需要有一定设计冗余，充分考虑管道的冷量损失。机组采用非防爆式常规机组，冷水机组应有安全保护装置：水泵连锁保护、漏电保护、缺相与错相保护、过欠压保护、系统高低压与安全阀保护、压缩机马达超温控制、油压差与油位控制、缺水保护等。

4.6 顺序控制盘

顺序控制盘连接压缩机、储氢瓶组和加氢机设备，采用三级充装模式，经压缩机压缩后获得的高压氢气，经顺序控制盘顺序控制后，分三路至高、中、低压固定储氢瓶组系统。氢气加注时，加氢机通过顺序控制盘按照低、中、高压顺序从储氢瓶组取气，达到设定压差切换瓶组顺序，保证加气速度，且支持管束车直充模式。

5 工艺管路设计

现执行的标准《加氢站技术规范》GB50156-2010（2021版）和《汽车加油加气加氢站技术标准》GB50156-2021中规定氢气管道材质应具有与氢良好相容的特性，GB50156中规定设计压力大于等于20MPa的氢气管道应采用316/316L双牌号钢或经实验验证的具有良好的与氢相容的材料；氢气管道应选用高压无缝钢管，应符合现行国家标准《流体输送用不锈钢无缝管》GB/T14976的有关规定。

加氢站内所以氢气管道阀门管件的设计压力应不小于最大工作压力的1.1倍，且不低于安全阀的整定压力。氢气管道的连接：外径小于或等于25.4mm，且设计压力

≥ 20MPa的高压氢气管道应采用卡套连接；氢气管道与设备的连接，根据需要宜采用卡套连接或螺纹连接；由于振动、压力脉动及温度变化等可能产生交变荷载的部位，不宜采用螺纹连接；设计压力小于20MPa的氢气管道的连接可采用焊接或法兰连接。

6 放空系统、吹扫系统、仪表风系统设计

6.1 安全放空系统

加氢站内的安全放空可以分为安全阀超压泄放和手动放空，对于站内可能存在超压的设备，应设置安全阀进行超压放空，安全阀的开启压力应小于设备的设计压力以起到保护的作用。对于不同压力等级的放空管应分别引至放空总管。手动放空主要用于设备维护检修，对设备和管道内进行泄压操作。

6.2 吹扫系统

氢气为可燃介质，故在加氢站内需要设置氮气对设备和氢气管道进行吹扫置换，便于设备管路的检修等。工艺装置区内设置专用的氮气集装格和氮气吹扫置阀组，与氢气管道和设备氢气管路相连，并设置止回阀，止回阀及氢气端的管道设计压力与氢气设备或氢气管道的设计压力一致，以防止高压氢气回流至氮气置换吹扫系统内。

6.3 仪表风系统

仪表风系统为整站气动阀门提供驱动气，气源为压缩氮气或者压缩空气，故可以采用氮气集装格或空气压缩机系统进行供气，同时压缩氮气符合HG20510-2000《仪表供气设计规定》仪表风系统的压力信号需实时采集、监测，异常状况需及时预警。

7 消防安全设施

为保障加氢站内的安全应设置消火栓消防给水系统，并应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》GB50016和《消防给水及消火栓系统技术规范》GB50974的规定。加氢站内还应配备灭火器材，应符合《建筑灭火器配置设计规范》GB50140的规定。

8 站控及安全监控系统

8.1 站控系统

站控系统主要利用PLC和上位机SCADA系统为核心，提供良好的人机对话的窗口，完成对加氢站内参数显示、报警、连锁、控制、记录以及其他相应有关参数的监控，PLC控制系统预留上传调度中心接口，具备向

调度中心传输重要监测数据的功能。

站控制系统设置功能如下：

(1) PLC控制系统对现场的工艺变量进行数据采集和设备控制，完成逻辑控制及连锁保护。

(2) 上位机SCADA系统显示动态工艺参，进行数数据存储、监控各电仪设备运行状态、模拟流程图、实时趋势和历史趋势、显示报警一览表、打印报警、事件和报表。

8.2 安全监控系统

安全监控系统包括可燃气体报警系统、火焰探测系统和视频监控系统，完成对可燃气体泄漏、火焰探测及环境温度检测、区域和声光报警，并具备报警连锁关断控制功能。

视频监控系统采用高清网络摄像机，分别设置在加氢站出入口、加氢车通道、氢气压缩机、储氢瓶组等处，爆炸危险区域应采用隔爆型，电视监控系统应考虑浪涌保护功能。

9 电气系统

加氢站内有爆炸危险环境内的电气设施应符合现行国家标准《爆炸危险环境电力装置设计规范》GB50058的有关规定，电气设施选型，防爆等级不应低于防爆等级为Ex II CT4。加氢站内设施应进行防雷接地保护，应符合现行国家标准《建筑物防雷设计规范》GB50057的有关规定。对于系统中有可能产生静电危险的地方，均应采取防静电措施。

10 结束语

加氢站的设计及选用不仅需要满足相应的标准规范的要求，还应结合设备的综合性能和经济效益进行设计；根据实际经验对设计工艺、站控系统、安全监控系统进行优化，提升加氢站运行的安全性、操作性、经济性。

参考文献：

[1]GB 50516-2010 (2021年版)，加氢站技术规范(2021年版)[S].

[2]GB 50156-2021，汽车加油加气加氢站技术标准[S].

[3]张彦纯.加氢站主要工艺设备选型分析[J].上海煤气，2019(06)：10-13，27.

[4]刘平，沈银杰.氢气充装与加氢站系统工艺研究[J].科技与创新，2018(13)：39-41.