氢燃料电池客车自带电解水制氢技术探讨

刘 剑，白学萍
（奇瑞商用车（安徽）有限公司，安徽 芜湖 241002）

摘 要：探讨一种氢燃料电池客车电解水制氢系统，阐述其基本构造和工作原理，并对该系统控制策略进行分析。

关键词：氢燃料电池；客车；制氢；电解水
中图分类号：TM911.4；U469.7 **文献标志码**：A **文章编号**：1006-3331(2022)04-0001-04

Discussion on Hydrogen Production Technology from Electrolyzed Water Self-bringed on Hydrogen Fuel Cell Bus

LIU Jian, BAI Xueping
(Chery Commercial Vehicle Co., Ltd., Wuhu 241002, China)

Abstract: The author discusses on the hydrogen production system from the electrolyzed water for hydrogen fuel cell bus, explains its basic structure and working principle, and analyzes the system control strategy.

Key words: hydrogen fuel cell; bus; hydrogen production; electrolyzed water

现阶段氢燃料电池客车氢气的来源有两种方式：一种是加注已制出来的氢，另一种是客车自带电解水制氢装备自制氢。加注已制出氢的方式制氢成本高，受制于加氢站的布局，加氢不便；而采用自带电解水制氢装备制氢的方式制氢方便智能，可将富余的电力转化为氢能[1]，但是目前氢燃料电池客车自带电解水制氢技术不成熟，市场推广缓慢。

本文对氢燃料电池客车自带电解水制氢技术进行研究分析，有效解决目前氢气供给不足，加氢、制氢、运氢和储氢不便等难题[2]。

1 氢燃料电池客车电解水制氢系统

1.1 电解水制氢系统基本构成

氢燃料电池客车自带电解水制氢系统的基本架构如图 1 所示。主要包括电解池设备、储氢系统管路和光伏电池系统三部分。

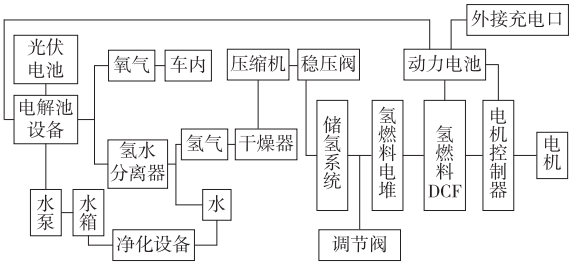

图 1 系统的基本架构

图 1 中，通过光伏电池将太阳能转化为电能，并将电能输入电解池设备对其中的电解液进行电离[3]，分解其中的水，在电解池设备两极分别产生氧气和氢气；湿润的氧气先通过管道进入车内空调风道，然后进入车内净化空气；带水的氢气进入氢水分离器内进行水和氢气分离[4]，分离后的水在控制状态下通过出水管经过净化设备处理后进入水箱，可循环使用；氢气经过干燥器进一步干燥，干燥后的氢气通过压缩机压缩，利用稳压阀稳压到额定压力后进入储氢系统存

收稿日期：2022-03-02。

第一作者：刘 剑（1985—），男，硕士；工程师；主要从事氢能、太阳能等新能源客车系统集成控制研究工作。Email：379490365@qq.com。

储,再通过调节阀调节至使用压力后进入氢燃料电堆与空气中的氧气反应产生电,再通过电压转换器(DFC)将低压直流升为高压直流,输入到电机控制器控制电机,驱动车辆行驶[5]。氢燃料电堆产生的多余电量可以存储在动力电池内,当无光照时,动力电池作为备用电源供电解池设备和车辆使用。动力电池设有外接充电口,可为动力电池充电。水箱内的水净化处理后通过水泵输入到电解池设备内。

1.2 电解池设备技术

电解池设备采用以色列理工学院提出的“两步法”E-TAC 电化学-热活化化学水分解技术。该技术可在不同时间、不同条件下分步进行析氢和析氧反应,从而提高水分解效率,进而提高氢气生产率,降低可持续制氢的运营成本和设备成本[6]。

电解池中的碱性电解质与水混合成电解液。电解液浓度过高会增加电耗,并析出晶体堵塞管道,造成电解池不能正常运行,而浓度过低也会增加电耗且使金属的钝性减弱降低气体纯度[7]。电解液的制作如下:使用氢氧化钾、氢氧化钠、氢氧化锂三者中的一种或者几种和蒸馏水按一定比例配制成密度为 1.1~1.26 g/ml 的碱性水溶液,同时在该碱性水溶液中加入浓度为 0.01~1 mol/L 的钨酸晶体作为添加剂,用于提升放电性能。钨酸晶体不参与反应,用量极少,因此其浓度影响可忽略不计。由于电解池中的电解液经过电离后其碱性电解质不会消耗,后期无需添加,因此碱性电解质在电解池制作时一次性放置封装,只有其中作为溶剂的水会被分解减少。

如图 2 所示,电解池设备由两个独立的电解室以双极压滤型式并联组成。将阴极和镍基阳极放置在电解池中,它们之间通电后,在阴阳极顺序产生氢和氧,取消了用于分离氢气和氧气的膜,从而大大简化了电解池的构造。其中阴极室设有出氢管、加水管、液位传感器,阳极室设有出氧管、加水管、液位传感器。当两个独立电解室需要加水时,水从水箱通过加水管进入。阳极、阴极先连通光伏电池板控制器的正极和负极,再与光伏电池系统连接,为电解池提供稳定的电流。阴极通过 HER 反应消耗水产生氢,释放 OH^-,电解液中的 OH^- 受镍基阳极的吸引而移向阳极,镍基阳极通过吸收 OH^- 将 $Ni(OH)_2$ 转变为 NiOOH,放出电子 e^-,生产水,此时电解池中的水位没有变化,反应式为[8]

阴极:$4H_2O+4e^- \rightarrow 4OH^- +2H_2$

阳极:$\{Ni(OH)_2+OH^- \rightarrow NiOOH+H_2O+e^-\} \times 4$

水电离使得水位下降到报警状态后,水箱中的水在智能控制状态下进行自加热,再通过加水管输送到电解池内。整个系统中不需要移动电极,只需使冷、热水流动转换,当电解池中的水加热至 95 ℃时,断开电流,带电的氧化态阳极(NiOOH)被还原成催化剂 $Ni(OH)_2$,同时消耗电解池中的水,与水之间自发反应形成 O-O 键,产生 O_2,使阳极催化剂再生,反应式为

阳极:$4NiOOH+2H_2O \rightarrow 4Ni(OH)_2+O_2$

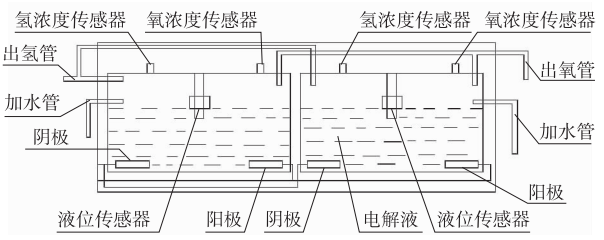

图 2 电解池原理结构简易图

由于 E-TAC 技术不需要设计隔膜,可提升更高压力下的制氢效率并降低压缩氢气的成本:氧气是通过带电后的镍基阳极和水的自发化学反应产生,消除了氧气生产过程中的电力需求,将能量效率从 70%~80%提高到 98.7%。E-TAC 技术制氢电能消耗仅需 3.24 Wh/L。

1.3 储氢系统管路技术

根据整车布置原则,储氢系统集成安装在车顶,如图 3 所示,由出氢管、供氢管和储氢系统组成。当车辆需要供氢时,氢气从储氢系统输出,经过电动调节阀和流量计将压力、流量、温度等参数调节到合适的范围,再输入到氢燃料电堆发电。

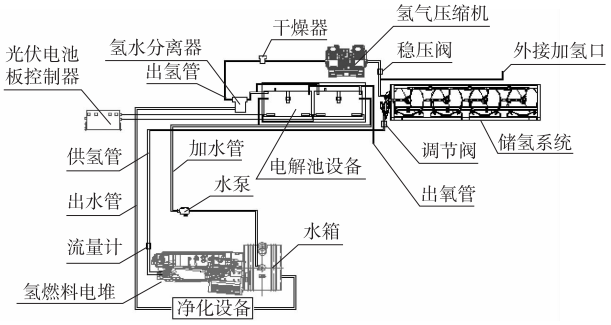

图 3 储氢系统管路布置图

1.4　光伏电池系统技术

如图 4 所示，对光伏电池板等进行顶置安装设计，采用光照自动跟踪系统[9]将 2 块满足制氢电能需求的光伏电池板安装在车顶，这样有利于光伏电池板在最大范围内横向旋转，光伏电池板全天在 15°～165°之间始终垂直对准太阳，而且在旋转过程中智能存储和自动调整坐标位置，提高太阳能的利用率，适合天气变化比较复杂的区域和智能驾驶的情况。

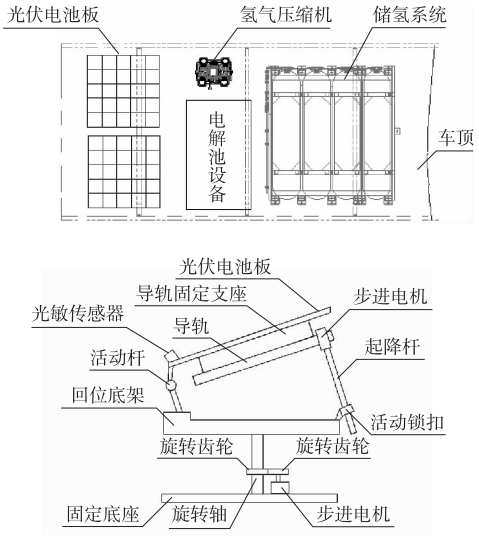

图 4　车顶安装分布图和自动跟踪系统原理图

2　控制策略

氢燃料电池客车电解水制氢系统的控制与整车控制配合，其控制策略如下：

1）太阳能发电。在有太阳光且电解池设备不工作的情况下，光伏电池系统将转换的电能储存在光伏电池中，以备无光照或者光线较差时电解池设备制氢用电使用。

2）电解池制氢。当有光照时，切换到电解池设备制氢模式，光伏电池通过控制器给电解池设备阴极阳极通电进行电离电解液；当无光照时，采用动力电池给电解池设备阴极阳极通电进行电离电解液。电解池设备开始制氢，在阴极通过 HER 反应产生氢气，利用氢气通过反应堆系统进行管道吹扫[10]，待氢气的浓度达到要求后，关闭供氢管控制阀，氢气通过分离、干燥、压缩等控制策略进入储氢系统储存。

3）电解池氢浓度监测。在电解池中设置有氢浓度传感器，随时随地对电解池内部制出氢的浓度进行监测，防止因氢气压力过大而造成电解池故障。

4）电解池设备加水。当电解池设备中的电解液水位达到报警状态时，电解池设备停止工作，开启水箱自加热系统。当水箱在智能控制下加热到 100 ℃时，启动水泵工作，将水箱中的蒸馏水输送到电解池设备中，当液位达到一定值时，液位传感器被触发，水泵停止工作，水箱系统停止加热，此时镍基阳极催化剂再生而产生氧气，氧气通过单向阀进入车舱内净化空气。

5）电解氢气压力调节。氢水分离器中选用气开式气动薄膜调节阀，让电解出来的氢气在输出过程中保持压力稳定。产品压力的选定范围为 0.8～4 MPa，每个选定产品的压力偏差不超过±0.05 MPa，且电解输出的氢气压力能连续可调，在升降压过程中超调量较小。氢气压力控制选择在阴极，采用单闭环定值调节系统调节，且氢气压力信号基本没有滞后[11]。

6）报警联锁控制。对于运行过程中的重要监测参数，如电解池压力、管道压力、系统温度、阴极阳极液位、加液量、储氢系统压力和氢氧纯度等，应有声光报警和联锁停机动作等操作。同时，氢氧纯度的监测应进行适当的滤波（如延时等），以防信号的误报。

3　结束语

利用太阳能或者风能电解水是一种能够持续供应氢能来驱动燃料电池汽车的有效途径。本文分析了氢燃料电池客车自带电解水制氢技术的工作原理和控制策略，但在降低成本、减少重量等方面还需要长期的优化和改进[12]。

参考文献：

[1] 刘坚，钟财富. 我国氢能发展现状与前景展望[J]. 中国能源，2019，41(2)：32-36.

[2] 沈军. 氢能源替代石油能源的加氢站技术与相关产品研究[J]. 科技创新与生产力，2018(5)：5.

[3] 段崇霞，吕效波. 电解池形式对电解产物的影响[J]. 中学教学参考，2010(26)：1.

[4] 胡志华，刁宏伟，廖显伯，等. 光伏电解水制备高纯氢气[J]. 云南师范大学学报（自然科学版），2004，24(6)：25-

27.

[5] 魏秉国. 低压直流供电电路中高压直流的产生[J]. 现代电子技术,2008,31(12):22-24.

[6] DONTAN. H,LASNDAM. A,SHEEHAN. W. S,et. al. Decoupled hydrogen and oxygen evolution by a two-step electrochemical-chemical cycle for efficient overall water splitting [J]. Nature Energy,2019(4):786-795.

[7] 杨阳,张胜中,王红涛. 碱性电解水制氢关键材料研究进展[J]. 现代化工,2021,41(5):78-80.

[8] 杨长春,陈鹏磊. 电池用 $Ni(OH)_2$ 及其电化学行为研究现状[J]. 电源技术,1999,23(1):6.

[9] 刘剑. 三源三充太阳能客车动力系统的设计研究[J]. 客车技术与研究,2018,40(3):27-30.

[10] 鲁飞,王少凯,朱鹤,等. 氢燃料电池客车动力系统开发[J]. 客车技术与研究,2018,40(4):1-3.

[11] 陶志杰. 水电解制氢装置控制系统设计与实现[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学,2008.

[12] 刘剑. 氢燃料电池客车的氢气自制循环系统的研究设计[C]//中国公路学会客车分会. 中国客车学术论文集(2018). 北京:人民交通出版社,2018:21-25.

◆广告目次

招商局检测车辆技术研究院有限公司	(封面)	太原泰立机电新技术有限公司	(中插一)
浙江流遍机械润滑有限公司	(封二)	福建中科云杉信息技术有限公司	(中插二)
《客车技术与研究》理事会名录	(封三)	厦门金龙旅行车有限公司	(中插三)
期刊信息	(封底)	中通客车股份有限公司	(中插四)
中车时代电动汽车股份有限公司	(前插一)	厦门金龙联合汽车工业有限公司	(后插一)
比亚迪汽车工业有限公司	(前插二)	公益广告——常通风	(后插二)
北京福田欧辉新能源汽车有限公司	(前插三)	公益广告——保持手卫生	(后插三)
宇通客车股份有限公司	(前插四)	宁德时代新能源科技股份有限公司	(后插四)