小功率PEMFC移动式电源的箱体结构和造型设计

贾秋红[1,2]，韩 明[3]，邓 斌[1]，张财志[3]，廖林清[2]
（1.西南交通大学，成都 600031；2. 重庆理工大学，重庆 400054；3. 淡马锡理工学院，新加坡 529757）

摘要：小功率质子交换膜燃料电池是目前质子交换膜燃料电池的研究热点之一，通过三维实体造型设计，使箱体结构设计达到灵活、实用、可靠和便捷等目的，以小功率自行车用燃料电池为主要应用目标，对采用高压氢气瓶、小型金属氢化物储气罐等不同氢气供气方式下的小功率质子交换膜燃料电池进行箱体结构和造型设计，使其既能在通用供气方式下作为一个独立的部件进行供电，也能快速安装金属氢化物储气罐箱体进行移动电源和便携式装置的供电，实现了使用的可靠性、灵活性和便捷性。

关键词：小功率质子交换膜燃料电池；箱体结构和造型设计；不同供气方式；移动式电源
中图分类号：TB472 **文献标识码**：A **文章编号**：1001-3563(2011)24-0049-04

Box Structure and Modeling Design of Transportation Power of Small Power PEMFC

JIA Qiu-hong[1,2], *HAN Ming*[3], *DENG Bin*[1], *ZHANG Cai-zhi*[3], *LIAO Lin-qing*[2]
(1. Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China; 2. Chongqing University of Technology, Chongqing 400054, China; 3. Temasek Polytechnic, Singapore 529757, Singapore)

Abstract: The research of small power PEMFC is one of research focus for PEMFC. By three dimensional solid modeling design of fuel cell box, it will make structure design more flexible, practical, reliable and portable, and help to its widely application in small electrical equipment and transportation etc fields. In this article, it takes the small power bike with fuel cells as the main application target. Based on different two hydrogen supply methods, high-pressure hydrogen cylinders and portable metal hydride hydrogen cylinders, the box structure and shape design of small power PEMFC is made. It cannot only provide power as a independent component using high-pressure hydrogen cylinders supply gas equipment, but also as transportation power or portable equipment by installing rapidly metal hydride hydrogen storage cylinders, which realized the use of reliability, flexibility and convenience.

Key words: small power PEMFC; box structure and modeling design; different hydrogen supply; transportation power

燃料电池是高效、环保、可再生的新能源，被广泛应用于各个领域。其中质子交换膜燃料电池(Proton Exchange Membrane Fuel Cell，以下称为PEMFC)由于具有能量转换率高、启动快、寿命长、比功率与比能量高等优点，是一种非常有吸引力的能源。其中小功率(1 kW以下)质子交换膜燃料电池系统以其高能量密度及可提供较久的使用时间得到了很大的发展，其在小功率移动电源、数码摄像机和笔记本电脑等领域具有广泛的应用前景[1]。目前小功率质子交换膜燃料电池系统的研发成为各国在质子交换膜燃料电池领域一个新的研究热点[2]。各国进行小功率燃料电池移动电源设计的公司[3]，如亚太燃料电池技术公司，Manhattan Scientifics公司，Materflex AG公司，Horizon燃料电池技术公司等。本研究以小功率自行车用燃料电池为原型，通过对小功率燃料电池实际功能和工作原理的分析，实现在不同燃料供给方式下(如高压瓶气态储氢或金属氢化物储氢等)箱体结构和造型的设计，达到此小功率燃料电池箱体结构灵活、可靠和便

收稿日期：2011-04-12
基金项目：重庆市自然基金项目(CSTC，2010BB4302)；重庆市教育委员会科学技术研究项目(KJ110810)
作者简介：贾秋红(1974—)，男，山西忻州人，西南交通大学博士生，重庆理工大学讲师，主要研究方向为机械设计及理论、新能源汽车。

携等设计目的。

1 质子交换膜燃料电池的工作原理

质子交换膜燃料电池的工作原理实际上是电解水的逆过程，即氢气与氧气通过电化学反应生成水，并释放出电能的过程。

一个典型的PEM燃料电池单体是由集流板、流场板、气体扩散层、催还层和质子交换膜等组成[4]。当分别向阳极和阴极供给氢气与氧气时，氢在阳极氧化、氧在阴极还原，质子通过电解质膜从阳极传送到阴极，电子经过外部电力负载的传递。在阴极催化层上氢离子和氧原子结合成水分子，产生水和热。

2 小功率燃料电池系统组成

一个完整的PEMFC电源系统由电堆单元、加湿单元、供气单元、系统输出单元、电源外壳等单元组成。对于小型燃料电池系统，主要由燃料电池堆、供气单元和电源运行管理单元等组成[5]。(1)燃料电池堆。单个燃料电池的电压很低，局限在大约1 V，在一定的负载下单个氢燃料电池的输出电压通常为0.6～0.7 V，因此要提供足够的电压就必须将多个电池串联起来形成电池堆。(2)供气单元。该单元分为空气供给单元和燃料供给单元。小型质子交换膜燃料电池的空气供给(散热)单元，通常采用自然对流或者风扇冷却的方式来保持燃料电池合理的运行。笔者研究的小功率燃料电池采用2个直流调速风扇来实现电池散热和空气的供给。目前氢气的供气方式[6]主要采用的是高压气瓶、金属氢化物储氢、化学储氢(硼氢化钠、金属反应如Al，Fe，Mg等)、碳纳米管储氢、液态储氢等。小功率PEMFC移动电源的供气方式主要是高压气瓶供气和金属氢化物储氢。高压气瓶储氢是一种应用广泛、简单易行的储氢方式，且压缩储氢成本低，充放气速度快，常温下就可进行，但体积比较大。金属氢化物储氢有体积小、安全性高、化学稳定性好、良好的氢质量和体积密度等优点，特别适用于对质量要求不高但对体积要求高的场合，对于便携式电池有很高的吸引力[7-8]。(3)电源运行管理单元。电源运行管理单元包括电堆检测及反馈部分、电源运行控制部分和电力输出部分。

3 小功率PEMFC移动式电源的结构和外形设计现状分析

目前，国内外对于小功率移动式燃料电池箱体结构和造型设计的研究资料甚少，主要的研究热点集中在燃料电池关键部件和材料、电池组的整体设计及其相关技术和燃料电池的数学建模等热点问题的研究。关于移动式PEMFC结构和外形设计不同的设计风格，见图1-4。其设计的共同特点是氢气瓶的安装

图1 攀业氢能源科技有限公司燃料电池自行车

Fig.1 Pearl hydrogen: fuel cell powered bicycle

图2 Acta能源公司燃料电池自行车

Fig. 2 Fuel cell bicycle by Acta energy

图3 Horizon燃料电池公司燃料电池自行车

Fig.3 Fuel cell bicycle by Horizon fuel cell technology

与燃料电池系统箱体结构分离。氢气瓶的安装以自行车实际结构做支撑，辅助以部分夹装部件安装氢气

图4　曼哈顿科学公司燃料电池自行车

Fig. 4　Fuel cell bicycle by Manhattan Scientifics, Inc

瓶，其安装位置一般位于自行车三角架和后轮结构之间；燃料电池系统箱体结构进行单独设计，其安装位置一般位于自行车货架上下。优点在于不改动自行车结构的基础上充分利用自行车本身的结构特点进行安装，缺点在于该结构的使用不够灵活，燃料电池箱体拆下后不便用于其他小型设备，需要配备有单独放置氢气瓶的装置。

本研究在分析现有小功率燃料电池移动式电源箱体结构与外形设计特点基础上，针对其存在的不足，提出新的结构和造型设计方案，以实现小功率移动式燃料电池箱体结构便于不同供气方式方便快速地作为便携式备用电源，具有一体化和协调等效果。

4　小功率PEMFC移动式电源的方案设计

4.1　方案设计

相同的功能可以采用不同的结构形式来实现，不同的结构形式又会直接影响产品形态。结构是形态的基础，形态是结构的不同表现形式[9-10]。笔者对于燃料电池箱体结构与造型设计主要考虑3个方面。

1）燃料电池箱体结构的外形和尺寸。燃料电池主体结构尺寸的大小是影响燃料电池箱体结构外形及尺寸的主要因素，燃料电池箱体结构造型设计首先要考虑的因素是外形，根据燃料电池组成系统中燃料电池、DC-DC转换单元、电路板等主要组成部件本身的结构特点，燃料电池箱体结构设计造型总体采用长方形结构便于燃料电池各组成系统的布局和放置，并且能在实现燃料电池既有功能的基础上，尽可能使其结构紧凑。燃料电池箱体宽度主要根据燃料电池宽度来决定；高度由燃料电池高度及风扇的高度共同确定，因为风扇与燃料电池堆叠放在一起进行安装，实现其换气和空气供给功能，因此它们的总高度决定了燃料电池箱体结构设计造型的高度。电池箱体结构造型的总长主要由一定容量小型金属氢化物储气罐的外形尺寸（保证气罐箱体和电池箱体外形尺寸的一致）、燃料电池控制电路板及DC-DC等部件的外形尺寸综合考虑来决定。考虑到便于装配，燃料电池箱体主要由2个部件组成，燃料电池箱盖和燃料电池箱底。为了实现燃料电池箱体和金属氢化储氢罐箱体装配的便捷性，箱盖的顶部采用平面外形，同时顶部开有2个圆形的孔提供风扇进行空气供给和散热；同时燃料电池箱底的底部平面有序列长圆形冲孔，底部支撑部分采用槽型结构，保证能有足够的空气形成对流实现良好的散热。另外附加有3个电源的输出接口（便于给外部负载供电）、氢气进气孔安装快速接头（便于氢气的快速接入与断开）和燃料电池的启动开关等。燃料电池箱体结构的三维实体造型，见图5-7。

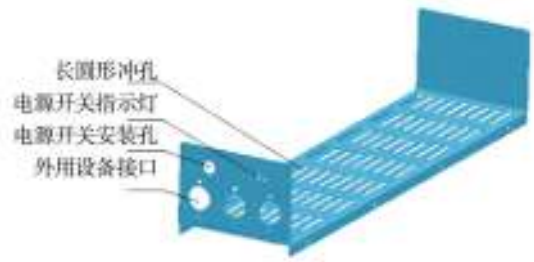

图5　燃料电池箱底造型

Fig.5　Modeling of the box bottom of PEMFC

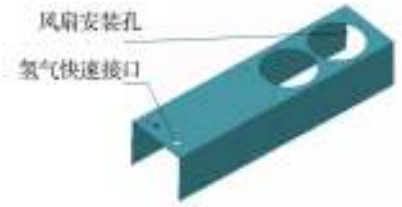

图6　燃料电池箱盖造型

Fig.6　Modeling of the box top of PEMFC

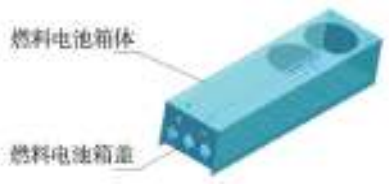

图7　燃料电池箱体结构设计造型

Fig.7　Modeling of the structure design PEMFC box

2）制造工艺性。箱盖和箱体作为2个不同的零

件实现了其可制造性和可装配性。箱底和箱盖的加工工序包括原材料→裁剪→冲压→折弯→钻孔→攻丝等过程。工序简单，便于制造，且避免影响外观的焊接等方式。

3）使用的灵活性和便捷性。该小功率PEMFC氢气的供给方式可以采用高压储气罐或金属氢化物储气罐来供给。用高压储气罐进行供气时，氢气通过燃料电池箱盖上的进气孔进行快速连接即可完成氢气的供给；用于小型移动设备的供电时，采用金属氢化物储气罐（体积较小）进行氢气的供给实现其便携性，采用2种供气方式能够实现使用的灵活性。区别于上述各小型移动设备公司的设计思路，为了实现金属氢化物储气罐的轻松携带、灵活性和整体性效果，笔者对金属氢化物储气罐箱体结构采用专门的结构和造型设计，其设计需要满足2个条件：与燃料电池箱体可靠方便的装配。采用矩形框架结构能够实现与燃料电池箱体的可靠组装，储氢罐箱体的尺寸由氢气罐的外形尺寸来决定，在外包装的顶部开有空气的通气散热孔。金属氢化物储气罐的可靠固定。通过5个半圆形支撑和2个气瓶卡保证气瓶在水平和垂直方向的可靠固定。根据储氢罐箱体结构外形设计采用不同的造型设计，见图8。根据不同的功能要求可以采用不

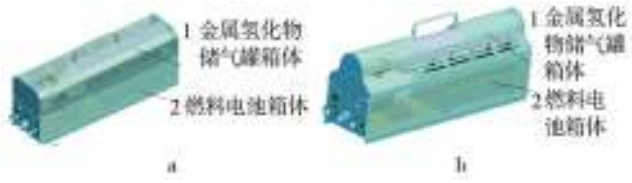

图8 结构设计造型

Fig.8 Modeling of the structure design

同外形，考虑到制造工艺的便捷性可选择采用图8a中部件1的造型设计，根据燃料电池箱体及氢气瓶的外形，其总造型设计可按图8b中的部件1进行造型。

4.2 结构造型设计的优点

（1）在使用金属氢化物储气罐作为供气装置时，该设计能做小功率移动电源，也可以与氢气瓶箱体结构装配作为一个独立的电源使用。（2）在采用高压储气罐进行氢气供气时，该箱体具有3个电压的3个输出口；高压储气罐氢气通过箱体上部接口快速连接；箱体结构底部长圆型冲孔能够与燃料电池系统快速装配；顶部采用平面结构增强了其实用性，制造工序简单化。（3）携带的便捷性。采用金属氢化物储氢罐进行氢气供给时，可通过简便的螺栓连接迅速将燃料电池箱体与储氢罐箱体装配在一起，箱体顶部装有把手，便于携带，可作为小型供电装置来使用。（4）根据不同的功能和结构要求可以进行不同的造型设计，实现其使用灵活性、可靠性和实用性。

5 结语

小功率PEMFC系统作为包括供气控制和水热管理等多个子系统的发电系统，为了在小型电子设备和小功率移动电源等领域得到更为广泛的应用，其箱体结构和造型设计也至关重要。笔者通过分析目前小功率燃料电池用作移动电源箱体结构的外形特点的优点和不足，综合考虑高压储气罐或金属氢化物储气罐2种不同供气方式，进行燃料电池和氢气瓶的结构和造型设计。使其既能分离使用，又能作为整体使用，达到了其使用的灵活性、实用性和可靠性，并且实现了燃料电池箱体与金属氢化物储气罐箱体的便捷装配。

参考文献：

[1] DYER C K.Fuel Cells for Portable Applications[J].Journal of Power Sources，2002，106：31—34.

[2] 刘明义，蒋利军，黄倬，等.便携式质子交换膜燃料电池系统集成研究[J].电源技术，2006，30（6）：446—449.

[3] 施皮格尔.燃料电池设计与制造[M].马欣，译.北京：电子工业出版社，2008.

[4] GOU Bei，WOON Ki Na，DIONG Ill. Fuel Cells：Modeling，Control and Application[M].Taylor & Group，2010.

[5] 孙佰文，李丹，徐洪峰，等.常压空气质子交换膜燃料电池[J].电源技术，2005，29（6）：399—401.

[6] HAYRE Ryan O，CHA Suk-won，COLELLA Whitney G.Fuel Cell Fundamentals[M]. John Wiley & Sons Publication，2005.

[7] LARMINIE J，DICKS A. Fuel Cell System Explained[M].John Wiley & Sons Publication，2003.

[8] MATTHEW M Mench.Fuel Cell Engines[M].John Wiley & Sons Publication，2008.

[9] 熊兴福.基于符号学的产品设计新探[J].包装工程，2004，25（1）：73—74.

[10] 罗家莉.产品结构设计的重要性及影响因素探析[J].包装工程，2009，30（6）：127—129.