

Recent Development of Temperature Rise Research in Hydrogen Cylinder Refueling Process*

Yanlei Liu^{1,2#}, Fuyong Xia¹, Bing Yu¹, Yongzhi Zhao², Gesi Liu²

¹Hangzhou Special Equipment Inspection Institute, Hangzhou

²Institute of Process Equipment, Zhejiang University, Hangzhou

Email: #liuyanlei@zju.edu.cn

Received: Nov. 8th, 2013; revised: Nov. 22nd, 2013; accepted: Nov. 25th, 2013

Copyright © 2013 Yanlei Liu et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. In accordance of the Creative Commons Attribution License all Copyrights © 2013 are reserved for Hans and the owner of the intellectual property Yanlei Liu et al. All Copyright © 2013 are guarded by law and by Hans as a guardian.

Abstract: With the development of the hydrogen automobile, the relevant hydrogen safety research is paid more attention. There is a high temperature rise because the refueling time is short with a fast refueling rate. And it is required for composite materials that the temperature should be limited under 80°C. Therefore, the research on temperature rise in hydrogen cylinder refueling process has important practical significance. This paper introduced the current development of temperature rise in hydrogen refueling process from the perspectives of the test, numerical simulation, patents, standard, etc. In addition, the problems to be solved were put forward.

Keywords: Hydrogen Cylinder; Fast Refueling; Recent Development; Experiment; Numerical Simulation; Patent; Standards

车用高压储氢气瓶快充过程温升研究进展*

刘延雷^{1,2#}, 夏福勇¹, 余兵¹, 赵永志², 刘格斯²

¹杭州市特种设备检测院, 杭州

²浙江大学化工机械研究所, 杭州

Email: #liuyanlei@zju.edu.cn

收稿日期: 2013年11月8日; 修回日期: 2013年11月22日; 录用日期: 2013年11月25日

摘要: 随着氢能汽车的发展, 相关的氢安全研究得到了重视。车用氢气瓶在快充过程中由于时间较短, 充装速率较快, 导致产生较高温升。而复合材料氢气瓶对温度有限制, 要求不高于 80°C。因此, 针对氢气瓶的快充温升研究具有重要的实用意义。本文从试验、数值仿真、专利、标准等方面, 介绍了目前氢气瓶快充过程温升的研究进展, 并提出了仍待解决的问题。

关键词: 高压氢气瓶; 快充温升; 研究现状; 试验; 数值模拟; 专利; 标准

1. 引言

上世纪 80 年代开始, 天然气汽车逐步得到应用, 很大一部分天然气汽车采用复合材料气瓶。

*项目资助: 浙江省科技创新团队项目(2010R50001-17)。

#通讯作者。

SY/T5853-1993《石油工业车用压缩天然气气瓶安全管理规定》规定天然气气瓶的使用温度上限为 80°C^[1]。由于气瓶的温度限制, 天然气汽车的快充温升引起了诸多气瓶生产单位及科研院所的关注。该些气瓶生产单位和科研院所主要有 Lincoln Composites、Luxfer、

NGV Systems、Brunswick、GTI、GRI 等。其中 Kenneth J.Kountz 对天然气气瓶的快充温升问题开展了理论分析, 假定气瓶内部温度分布均匀, 研究结果表明在 5 min 内对 20 MPa 的天然气气瓶充满时, 温升不超过 30℃^[2]; Eric Shipley 开展的试验研究表明实际快充过程中的温升应该更低^[3]; Norman L.Newhouse 等认为在实际充装过程中, 天然气时气瓶的温度最高会达到 57℃^[4]。尽管上述结果是在不同充装条件下得出的, 也没有给出确切的初始充装条件如环境温度、初始压力、充装速率, 但其结论都与容器使用温度上限 80℃相距较大。关于天然气快充时容器内温升及温度分布的后续研究介绍较少, 这也说明天然气充装过程中温度不会超过气瓶的温度限制值的结论已被大家接受。

1990s 开始, 清洁能源汽车逐渐成为世界各国研究热点, 特别是氢能汽车得到了广泛的关注, 且针对氢能汽车的实际应用开展了大量的研究。目前已建立加氢站多所, 且大部分加氢站和氢能车都使用高压氢气。与天然气充装相比, 要达到相同的储量, 加注氢气的压力需更高, 在相同时间内加注流速更快, 其温升也将更高, 氢气快速充装的温升问题也受到各研究单位的重视^[5]。从相关文献的发表形式与途径角度来看, 研究进展可以从公开发表的试验和数值模拟相关论文、专利以及各国氢燃料电池车领域的标准化进程三个方面来了解。

2. 试验及数值模拟研究

世界各国政府及相关的产业巨头均已开始或完成了一些车用高压储氢气瓶的快充试验。但是由于车用高压储氢气瓶的快充试验耗资较大, 已发表的试验数据相对较少。目前相关领域已发表的试验相关文献中, 多为政府研究机构及政府资助的实验室发表, 企业的试验研究在相关研究刊物上极少发表, 所以试验数据极为宝贵。另外由于现有的试验手段并不能完整的描述高压氢气快充过程的热力学响应细节, 所以作为试验的补充, 快充过程的数值模拟研究也得到了重视。

目前, 日本自动车研究所(JARI, Japan Automobile Research Institute)是世界范围内氢燃料电池车技术领域最为活跃的研究机构之一。该组织与日本经济产业省合作, 利用经产省的日本氢能及燃料电池示范项目

JHFC (Japan Hydrogen & Fuel Cell Demonstration Project)的资助以及日本新能源产业的技术综合开发机构 NEDO (the New Energy and Industrial Technology Development Organization of Japan)的技术支持, 已经完成了较多的试验及模拟研究^[6,7]。已发表的文献有: 2006 年 Hirofumi 等人发表了对工作压力 35 MPa、容积 34 L 和 74 L 的两种 III 型气瓶(铝合金内衬)和容积 65 L 的 IV 型气瓶(塑料内衬), 以及工作压力 70 MPa、容积 41 L 的 III 型气瓶和容积 31 L 的 IV 型气瓶在不同充气速率下的快充试验结果, 并且给出了 35 MPa 的三种气瓶在不同升压模式(恒速、先快后慢、先慢后快和阶梯式的气瓶升压方式)下的快充试验^[8]; 2006 年伊藤裕一等人利用 FVM 方法, 对工作压力 35 MPa、容积 34 L 的 III 型气瓶的快充过程, 进行了三维数值模拟, 该模拟模型采用了理想气体方程来描述氢气的物性^[9]; 2008 年 Terada 等人利用工作压力 35 MPa、容积 34 L 型气瓶和容积 65 L 的 IV 型气瓶, 通过改变气瓶进口氢气加注管的直径和射流射出方向的方法, 研究了气瓶快充时的内部气体及内衬内壁面的温升规律^[10]; 2009 年 Yoshimura 等人不再采用前述的单瓶快充试验, 而是对包括两个工作压力 35 MPa 的 III 型气瓶(容积分别为 34 L 和 74 L)以及各种组件的集成储氢系统, 进行了快充试验, 研究了除气瓶外的这些组件对快充温升的影响, 结果显示: 对于双瓶储氢系统, 由于两个气瓶内部温度分布可能不同, 可能导致两气瓶内压力不均衡^[11]; 2011 年 Matsuno 等人对两种工作压力为 70MPa 的储氢气瓶(容积 125 L 的 III 型气瓶和容积 40 L 的 IV 型气瓶)进行了多次循环的快速充放试验, 通过反复的充气和放气, 研究了此时气瓶内部氢气的温升变化规律, 发现气瓶内部温度场的变化模式在循环开始时主要受到环境温度、氢源储罐内氢气温度和放气时间等测试条件的影响, 但在一定循环次数后, 其变化模式达到稳定状态^[12]。

浙江大学化工机械研究所高压过程装备实验室, 也一直致力于高压储氢系统相关技术的研究, 并受到了国家高技术研究发展计划(863 计划)和国家重点基础研究发展计划(973 计划)的资助。在车用高压储氢气瓶的快充温升研究方面, 已发表的文献如下: 2009 年刘延雷和赵磊等人对工作压力 35 MPa、容积 150 L 的 III 型气瓶, 分别进行了快充过程的试验和二维数值模

拟, 揭示了起充压力、质量流率和环境温度对快充温升的影响^[13,14]; 2011 年刘格思等人对工作压力 70 MPa、容积 74 L 的 III 型气瓶进行了快充过程的二维数值模拟, 通过改变气瓶升压模式以及升压速率的方式, 探究了快充过程中气瓶内部氢气温升的变化规律^[15]。

加拿大温哥华的英属不列颠哥伦比亚大学清洁能源研究中心也在车用高压储氢容器的快充温升研究方面完成了一些相关研究, 并受到加拿大联邦政府所属的加拿大西部经济多样化组织 Western Economic Diversification Canada (WD) 的资助。已发表的文献有: 2006 年 Dicken 和 Merida 对工作压力 35 MPa、容积 74 L 的 III 型气瓶, 通过改变气瓶内部初始压力的方式进行了快充试验, 该试验在气瓶内部安放了 63 个热电偶, 得到了较为细致的温度场, 发现了气瓶内部由于浮力效应产生的垂直方向上的温度梯度^[16]; 2007 年 Dicken 和 Merida 提出了一种预测 35 MPa 气瓶快充过程的二维数值模拟模型, 并利用 2006 年的试验数据, 证实了模型的精度^[17]。

位于荷兰的欧盟委员会所属联合研究中心的能源研究所(JRC-IE, Institute for Energy, Joint Research Centre of the European Commission)也积极开展车用储氢气瓶的快充温升研究, 并受到欧盟新能源战略的基础研究计划之一 HYAST Project (Hydrogen Safety in Storage and Transport) 的资助, 并已发表了一些成果。2010 年 Heitsch 等人利用前述 Dicken 等人在 2006 年完成的 35 MPa 快充试验数据, 进行了快充过程的三维数值模拟, 描述了浮力效应引起的影响^[18]。2011 年 JRC-IE 在 ICHS4th (International Conference on Hydrogen Safety 4th) 发表了两篇论文: Acosta 等人描述了该组织开发的一套高压气体快充试验台(GASTEF Facility), 以及部分 70 MPa 的储氢气瓶的循环快速充放试验数据(每一个周期包括 2.5min 充气 and 40min 放气两个阶段)^[19]; Galassi 等人提出了一种三维数值模拟模型, 以预测 70 MPa 储氢气瓶的快充过程, 该模型被两组 0.02 MPa 起充, 71.8 MPa 终止的 IV 型气瓶快充试验所验证^[20]。

作为世界最大的工业气体公司之一, 法国的 Air Liquide 公司也致力于储氢气瓶的快充研究。2006 年 Pregassame 等人为了确定充装 70 MPa 车用储氢气瓶快充过程所需的氢气预冷程度, 采用工作压力 70

MPa、容积 34 L 的 III 型气瓶, 通过对比 288 K (室温)、233 K、203 K 和 163 K 这四种预冷方案下的快充试验, 发现: 从能量消耗和减小温升的角度来看, 233 K 预冷方案是最合适的; 从复合材料的安全角度来看, 在温度低于 233 K 时碳纤维复合材料层的性能可能会出现劣化^[21]。

Chrysler、Powertech、St. Croix Research、Air Liquide、Daimler 和 Kraus Global 等汽车、工业气体、气瓶制造商等相关企业和氢能研究机构, 2007 年联合进行了 70 MPa 车用储氢系统的快充试验, 参与研究的多家企业和机构确定了共同的 70 MPa 车用储氢系统快速充装条件的设置规定, 且其结果被 SAE J2601/CSA 4.3/ISO TC 197 WG11 等快充相关标准采纳^[22]。

日本佐贺大学的 Monde 等人在 2007 年利用容积 1.38 L 的小型钢制圆柱容器, 进行了最高压力至 35 MPa 的氢气快充试验, 并提出了该容器内部气体和容器温升的估算模型^[23]; 2009 年 Khan 和 Monde 等人利用前述 JARI 应用过的工作压力 35 MPa、容积 34 L 的 III 型气瓶, 采用三个氢源储罐(2 个 44 MPa、1200 L 和一个 87.5 MPa、330 L 的氢气储罐)对其进行快充试验, 描述了气瓶进口处氢气射流温度在无预冷情况下的变化规律(锯齿形的时变曲线)^[24]。

韩国庆一大学 Kim 等人在 2010 年对一个容积 72L、工作压力 35MPa 的 IV 型气瓶进行了快充试验, 并提出了一个预测其快充过程的三维数值模拟模型, 模型使用了质量流率进口边界^[25]。

2009 年美国国家标准研究院(National Institute of Standards and Technology)的 Yang 提出了一种快充过程温升的数值计算方法, 该方法基于恒速充装(质量流率), 并采用 Helmholtz 自由能方程作为氢气的真实气体模型^[26]。

3. 相关专利

由于车用储氢系统的相关研究, 具有较大的商业化前景, 所以有相当一部分的车用储氢气瓶快充研究, 是以专利的形式出现的。

日本本田(Honda)汽车公司近年来在车用储氢气瓶快充的研究领域开发了不少的用于氢气预冷的相关设备, 以及一些用于改善快充过程能效的充气方法, 并在世界范围内申请了专利。例如 EP 1717511 A2、EP 1722153 A2、EP 1726869 A2、US 2007/0113918 A1、

US 7377294 B2 和 US 7637389 B2^[27-32]。

类似地, 日本丰田(Toyota)汽车公司进行了相关专利的申请。例如 EP 1826051 A1 描述了一套用于氢气预冷的设备, 以及相应的快充方法^[33]。

法国液化空气(Air Liquide)公司作为全球最大的工业气体公司之一, 也开发了一些用于车用储氢气瓶快充的设备及优化的快充方法。例如 US 2009/0151812 A1 和 US 0229701 A1 描述了分别适用于 35 MPa 和 70 MPa 两种压力等级的快充系统(含预冷设备), 以及优化后的控制方案^[34,35]; CN 101802480 A 说明了一种快充方法, 该方法根据充装过程中散热量最大化的原则, 得到最佳的充装氢气质量随时间的变化曲线, 从而使加气时间最短^[36]。

除去相关产业巨头外, 还有一些个人和研究机构发明了快充技术相关的专利。Friedlmeier 等人在 US 0155404 A1 中描述了一种优化的快充方法^[37]; Kojima 在 US 2010/0044020 A1 中描述了一种管壳式的氢气预冷装置^[38]; 日本大阳日酸株式会社的大盛幹士和久和野敏明在 CN 10103382 1A 中描述了一种含预冷装置的氢气快充系统, 以及相应的优化快充方法^[39]。

浙江大学化工机械研究所高压过程装备实验室也在车用高压储氢气瓶的快充技术方面取得了一些专利: 郑津洋和杨健等人开发了一些加注系统及其相应的控制方法, 例如中国专利 ZL 2008 20120132.8、ZL 2008 10063584.1 和 ZL 2010 10190460.7^[40-42]。

4. 相关标准

目前, 世界各国在车用储氢气瓶的快充相关技术方面的标准化进程还处于积累完善的阶段。

美国机动车工程师学会(SAE, Society of Automotive Engineers)是当前世界范围内车用储氢气瓶快充相关领域标准化进程最快、最完善的组织之一。其已颁布的相关标准有: SAE J2600 Compressed Hydrogen Vehicle Fueling Connection Devices^[43], 该标准给出了 25 MPa、35 MPa、50 MPa 和 70 MPa 四种工作压力下的储氢系统连接设备的结构设计、安全和运行要求; SAE TIR J2601 Fueling Protocols for Light Duty Gaseous Hydrogen Surface Vehicles^[44], 该标准描述了轻型氢燃料电池车的快充条件的安全限值和运行要求; SAE J2579 Technical Information Report for Fuel Systems in Fuel Cell and Other Hydrogen Vehicles^[45], 该标准描述了车用

储氢及其关联的充氢等系统的设计和制造要求; SAE J2799 70 MPa Compressed Hydrogen Surface Vehicle Refueling Connection Device and Optional Vehicle to Station Communication^[46], 该标准给出了用于 70 MPa 车用储氢气瓶快充的连接设备的设计选型准则, 以及车与加氢站间的通信要求。正在制定中的标准有: SAE TIR J2601/2 Fueling Protocols for Heavy Duty Gaseous Hydrogen Surface Vehicles (buses)和 SAE TIR J2601/3 Fueling Protocols for Gaseous Hydrogen Powered Industrial Trucks (forklifts), 这两种标准是 SAE TIR J2601 的子标准, 只是应用的车型不同^[47]。

国际标准化组织(ISO, International Standards Organization)也已制定了一些车用储氢气瓶快充系统的相关标准。例如 ISO 17268 Compressed Hydrogen Surface Vehicle Refueling Connection Devices^[48], 该标准给出了 25 MPa、35 MPa 两种工作压力下的储氢系统连接设备的结构设计、安全和运行要求, 该标准正在制定中的第二版 DIS 17268.2 更新了一些相关内容, 将最高工作压力提升到了 70MPa; ISO/TS 15869 Gaseous hydrogen and hydrogen blends-Land vehicle fuel tanks^[49], 该标准提出了车用高压储氢或氢混合物容器的设计和测试要求。韩国标准协会(KSA, Korean Standards Association)直接应用了 ISO 制定的一批车用氢系统标准, 其中就包括前述的两个 ISO 标准, 其韩国标准号为 KS B ISO 15916 和 KS B ISO 17268^[50]。

日本自动车研究所(JARI)于 2004 年制定了用于规范 35MPa 车用储氢系统的标准 JARI S001 和 JARI S002, 这两个标准描述了 35 MPa 的车用高压储氢气瓶及其附件的设计和测试要求。日本高压气体保安协会(KHK)正在制定用于 70 MPa 的车用储氢系统的标准 KHK S0128^[51,52,53]。

中国标准化研究院正在致力于中国车用高压储氢系统及其加注装置的标准化。例如《压缩氢气车辆加注连接装置》国家标准已经完成征求意见稿, 该标准内容与 ISO 17268 基本一致^[54]。

欧盟委员会颁布了欧洲指令 Regulation No. 79 (2009), 该指令主要用于规范氢燃料电池车的系统组件的设计、安装和运行^[55]。

加拿大标准协会(CSA, Canadian Standards Association)也正在制定一系列的应用高压气态储氢系统的氢燃料电池车标准。其中储氢与快充系统的标准有: CSA

America HGV 2 (draft): Basic Requirements for Hydrogen Gas Vehicle (HGV) Fuel Containers、CSA America HGV 3.1 (draft): Fuel System Components for Hydrogen Gas Powered Vehicles 和 CSA America HGV 4.3 (draft): Temperature Compensation Devices for Hydrogen Gas Dispensing Systems^[56]。

5. 仍待解决的问题

从以上国内外相关研究来看:

1) 目前的数值仿真中,均假设快充系统温升过程中气瓶为刚体,但实际中气瓶在升压幅度较大的情况下是存在鼓胀现象的,即气瓶本身存在弹性变形,同时氢气也会对气瓶做功,会引起一部分热损失。这一现象涉及复杂的流固耦合问题,在快充过程中气瓶内部氢气升压,同时内衬和复合材料层的应力、应变逐渐变大,期间流体与固体相互作用。为了解决这一问题,需要构建一套氢气与内衬,内衬与复合材料的力学和传热学耦合计算方法。

2) 目前国内外还没有一套完整的智能化加注控制系统来指导加氢站的实际充装。如何在保证最快的时间内,且不超过温升限制值,来进行充装对实际应用具有较高的工程价值。目前的研究大多针对温升,但是在保证温升情况下,如何满足充装量的要求,提及较少。由于温升的影响,当氢气瓶达到额定充装压力时,瓶内氢气质量尚未达到额定充装质量。为保证氢气瓶加注到常温下的额定质量,加注压力需适当提高。从文献上看目前还没有加注压力的确定方法。因此有必要研究加注压力与充装参数的关系,保证加注结束后,氢气瓶充装量满足额定要求。

相信随着以上问题的解决,车用氢气瓶的快充温升问题会得到进一步的解决,为氢能汽车的安全发展提供更有力的技术支持。

参考文献 (References)

[1] SY/T5853-1993 (1993) 石油工业车用压缩天然气气瓶安全管理规定。
 [2] Kenneth, J.K. (1994) Modeling the fast fill process in natural Gas vehicle storage cylinders. 207th ACS National Meeting-Division of Fuel Chemistry, San Diego.
 [3] Shipley, E. (2002) Study of Natural Gas Vehicles (NGV) during the fast fill process. Master's Thesis, College of Engineering and Mineral Resources, West Virginia University
 [4] Newhouse, N.L. and Less, W.E. (1999) Fast filling of NGV fuel containers. SAE Technical Paper Series.

[5] 余阳 (2006) 美国氢燃料电池技术的发展—由化石能源体系向氢能源体系及多样化的重大转换. *全球科技经济瞭望*, **2**, 50-53
 [6] Japan Hydrogen & Fuel Cell Demonstration Project (日本经济产业省) (2011) 燃料电池システム等実証研究. 第 2 期 JHFC プロジェクト報告書.
 [7] Japan Hydrogen & Fuel Cell Demonstration Project (日本经济产业省) (2006) 燃料电池システム等実証研究. 第 1 期 JHFC プロジェクト報告書.
 [8] Hiroshi, R., Tomioka, J., Maeda, Y., Mitsuishi, H. and Watanabe, S. (2006) Thermal behavior in hydrogen storage tank for fuel cell vehicle on fast filling. *Proceedings of the 16th World Hydrogen Energy Conference*, Lyon, 13-16 June 2006.
 [9] 伊藤裕一, 田村阳介, 三石洋之, 渡边正五 (2006) 自动车用圧縮水素容器への急速充填の数値解析. *自動車研究*, **28**, 29-32.
 [10] Terada, T., Yoshimura, H., Tamura, Y., Mitsuishi, H. and Watanabe, S. (2008) Thermal behavior in hydrogen storage tank for fcv on fast filling (2nd Report). SAE Technical Paper Series, 2008-01-0463.
 [11] Hiroshi, Y., Noriaki, O., Yohsuke, T. and Hiroyuki, M. (2010) Thermal behavior in hydrogen tank for fcv on fast filling—Fast filling test with the hydrogen storage system. *Transactions of Society of Automotive Engineers of Japan*, **41**, 729-732.
 [12] Matsuno, Y., Maeda, Y., Otsuka, N., Tamura, Y. and Mitsuishi, H. (2011) Attained temperature during gas fueling and defueling cycles of compressed hydrogen tanks for FCV. *4th International Conference on Hydrogen Safety (ICHS)*, San Francisco, 12-14 September 2011.
 [13] Liu Y.L., Zhao Y.Z., Zhao L., Li X., Chen H.G., Zhang L.F., Zhao H., Sheng R.H., Xie T., Hu D.H. and Zheng J.Y. (2010) Experimental studies on temperature rise within a hydrogen cylinder during refueling. *International Journal of Hydrogen Energy*, **35**, 2627-2632.
 [14] Zhao, L., Liu, Y.L., Yang, J., Zhao, Y.Z., Zheng, J.Y., Bie, H.Y. and Liu, X.X. (2010) Numerical simulation of temperature rise within hydrogen vehicle cylinder during refueling. *International Journal of Hydrogen Energy*, **35**, 8092-8100.
 [15] Liu, G., Zhao, Y., Liu, Y., Zheng, J., He, Y. (2011) Numerical study on fast filling of 70 MPa hydrogen vehicle cylinder. *4th International Conference on Hydrogen Safety (ICHS)*, San Francisco, 12-14 September 2011.
 [16] Dicken, C.J.B. and Merida, W. (2007) Measured effects of filling time and initial mass on the temperature distribution within a hydrogen cylinder during refueling. *Journal of Power Sources*, **165**, 324-336.
 [17] Dicken C.J.B. and Merida W. (2008) Modeling the transient temperature distribution within a hydrogen cylinder during refueling. *Numerical Heat Transfer Part A*, **53**, 7685-7708.
 [18] Heitsch, M., Baraldi, D. and Moretto, P. (2011) Numerical investigations on the fast filling of hydrogen tanks. *International Journal of Hydrogen Energy*, **36**, 2606-2612.
 [19] Acosta, B., Moretto, P., Frischauf, N., Harskamp, F. and Bonato, C. (2011) Hydrogen tank filling experiments at the JRC-IE GASTEF facility. *4th International Conference on Hydrogen Safety (ICHS)*, San Francisco, 12-14 September 2011.
 [20] Galassi, M.C., Papanikolaou, E., Heitsch, M., Baraldi, D., Acosta, I.B. and Moretto, P. (2011) Validation of CFD models for hydrogen fast filling simulations. *4th International Conference on Hydrogen Safety (ICHS)*, San Francisco, 12-14 September 2011.
 [21] Sitra, P., Friedel, M., Laurent, A., Philippe, B. and Katia, B. (2006) Evaluation of cold filling processes for 70MPa storage systems in vehicles. *Proceedings of 16th World Hydrogen Energy Conference*, Lyon, June 2006.
 [22] Jesse, S., Livio, G., Mark, M., Melissa, D., Charles, P., Frederic, B., Sitra, C., Steffen, M. and Dev, P. (2007) 70MPa Gaseous Storage Fueling Testing. World Hydrogen Technologies Convention (WHTC).

- [23] Masanori, M., Yuichi, M., Peter, L.W. and Shinichi, M. (2007) Characteristics of heat transfer and temperature rise of hydrogen during rapid hydrogen filling at high pressure. *Heat Transfer—Asian Research*, **36**, 13-27.
- [24] Tawhidul, I.K., Masanori, M. and Toshiaki, S. (2009) Hydrogen gas filling into an actual tank at high pressure and optimization of its thermal characteristics. *Journal of Thermal Science*, **18**, 235-240.
- [25] Sung, C.K., Seung, H.L. and Kee, B.Y. (2011) Thermal characteristics during hydrogen fueling process of type IV cylinder. *International Journal of Hydrogen Energy*, **35**, 6830-6835.
- [26] Jiann, C.Y. (2009) A thermodynamic analysis of refueling of a hydrogen tank. *International Journal of Hydrogen Energy*, **34**, 6712-6721.
- [27] Kiyoshi, H. (2006) Gas cooling for high pressure fuel storage tanks on vehicles powered by compressed natural gas or hydrogen. EP1717511A2, 2006-11-02.
- [28] Kiyoshi, H. (2006) Gas cooling using a melting/solidifying medium for high pressure storage tanks for compressed natural gas or hydrogen. EP1722153A2, 2006-11-15.
- [29] Kiyoshi, H. (2006) System for enhancing the efficiency of high pressure storage tanks for compressed natural gas or hydrogen fuel. EP1726869A2, 2006-11-29.
- [30] Izuru, K. and Vlituya, H. (2007) Hydrogen tank filling station and method of filling hydrogen tank with hydrogen. US2007/0113918A1, 2007-05-24.
- [31] Kiyoshi, H. and Rancho P.V. (2008) Gas cooling methods for high pressure fuel storage tanks on vehicles powered by compressed natural gas or hydrogen. US7377294B2, 2008-5-27.
- [32] Izuru, K. and Mitsuya, H. (2009) Apparatus for and method of filling hydrogen tank with hydrogen. US7637389 B2, 2009-12-29.
- [33] Kubo, H. and Mori, D. (2007) Hydrogen tank cooling device and cooling method in hydrogen fuel automobile, and hydrogen fuel automobile. EP1826051A1, 2007-8-29.
- [34] Laurent, A. (2009) Method and device for filling a tank with a pressurized gas. US2009/0151812A1, 2009-06-18.
- [35] Laurent, A., Thomas, C., Sebastian, S. and Thomas, V. (2009) Device and method for filling a container with a gas under pressure. US0229701A1, 2009-09-17.
- [36] 阿利迪热斯, L., 沙波诺, T., 塞凯利, S., 维纳尔, T. (2010) 用于填充加压气体容器的方法. CN101802480 A, 2010-08-11.
- [37] Gerardo, F. and Steffen, M. (2010) High-pressure gas tank and method of filling a high-pressure gas tank. US0155404 A1, 2010-06-24.
- [38] Nobuyuki, K. (2010) Hydrogen gas-cooling device. US2010/0044020 A1, 2010-02-25.
- [39] 大盛幹士, 久和野敏明 (2007) 氢气填充方法及装置. CN 101033821A, 2007-09-12.
- [40] 郑津洋, 杨健, 赵磊, 唐萍, 徐平, 叶建军 (2008) 一种加氢站高效加氢的三级加注优化控制系统. CN ZL 2008 2 0120132.8, 2009-04-08.
- [41] 郑津洋, 杨健, 赵磊, 唐萍, 徐平, 叶建军 (2010) 一种加氢站高效加氢的三级加注系统. CN ZL 2008 1 0063584.1, 2010-06-09.
- [42] 杨健, 郑津洋, 赵磊, 唐萍, 徐平, 叶建军 (2010) 基于温升与能耗控制的加氢站氢气优化加注方法及其系统. CN ZL 2010 1 0190460.7, 2011-09-14.
- [43] Society of Automotive Engineers (2002) Compressed hydrogen vehicle fueling connection devices. SAE J2600.
- [44] Society of Automotive Engineers (2010) Fueling protocols for light duty gaseous hydrogen surface vehicles. SAE TIR J2601.
- [45] Society of Automotive Engineers (2009) Technical information report for fuel systems in fuel cell and other hydrogen vehicles. SAE J2579.
- [46] Society of Automotive Engineers (2007) 70 MPa compressed hydrogen surface vehicle refueling connection device and optional vehicle to station communication. SAE J2799.
- [47] http://www.fuelcellstandards.com/vehicle_apps.html.
- [48] International Standards Organization (2006) Compressed hydrogen surface vehicle refueling connection devices. ISO 17268.
- [49] International Standards Organization (2009) Hydrogen blends-Land vehicle fuel tanks. ISO/TS 15869.
- [50] <http://www.ksa.or.kr/>
- [51] 日本自动车研究所 (2004) 压缩水素自動車燃料装置用容器の技術基準. JARI S001.
- [52] 日本自动车研究所 (2004) 压缩水素自動車燃料装置用附属品の技術基準. JARI S002.
- [53] <http://www.khk.or.jp/>
- [54] <http://www.cnis.gov.cn/>
- [55] The European Parliament and of the Council (2009) Type-approval of hydrogen-powered motor vehicles. Regulation (EC) No. 79/2009.
- [56] <http://www.csa-america.org/standards/>