

doi:10.3969/j.issn.1671-5152.2011.11.003

上海世博会燃料电池汽车加氢站 设计与工程建设实践

□ 上海新奥能源科技有限公司 (201203) 肖方暉 吴竺

□ 上海新奥九环车用能源股份有限公司 (200086) 阮伟民 霍超峰 傅玉敏

摘 要: 加氢站对于燃料电池汽车的发展有着积极的推动作用。本文简述了上海世博会燃料电池汽车加氢站的设计和建设, 讨论了我国加氢站建设中的关键问题, 对我国加氢站的自主研发和氢能利用有一定的参考价值。

关键词: 加氢站 氢能 燃料电池汽车

1 前言

能源是人类可持续发展的根本保证。近年来, 全世界都在积极研究开发利用新能源。氢能是一种资源丰富、环境友好、来源多样、可再生、可储存的清洁能源, 能满足资源、环境和社会可持续发展的要求。国际能源界预测在各种新能源中, 氢能最有可能进入实际应用领域, 人类社会也将步入一个崭新的“氢能源”时代^[1]。

燃料电池 (Fuel Cell) 是氢能使用最重要的技术之一, 作为一种电化学反应装置, 其不经过燃烧, 直接将化学能转化成电能。燃料电池技术广泛应用于汽车工业领域, 与传统的内燃机相比, 燃料电池具有更高的能源转换效率, 而且由于其反应的产物是水, 不产生任何的污染物和温室气体, 实现了真正的零排放。

我国燃料电池汽车事业的发展基本与世界同步, 在政府的能源、环保战略以及北京绿色奥运和上海低碳世博的推动下, 发展速度仍在不断加快。除国家863项目自主研发的燃料电池汽车和联合国发展计划署-全球环境基金 (UNDP-GEF) 组织资助的燃料电池公交车等示范项目外^[2], 国内各大汽车公司也分别

在研发和制造具有自主知识产权的燃料电池汽车。由于燃料电池汽车的车载储氢量有限, 当氢气耗尽时, 必须进行氢燃料补充, 才能继续行驶, 因此加氢站也就成为燃料电池汽车氢气快速补充的必要配套设施。加氢站的建设和发展、加氢网络覆盖范围的延伸将对氢燃料电池汽车是否能大量投入商业化推广并且被大众所接受起到重要的作用。

2 世博会加氢站设计思路

2.1 加氢站储氢量

世博会期间将有燃料电池公交车、燃料电池轿车和燃料电池观光车3类共196辆氢燃料电池汽车在世博园区内外进行示范运行。作为有史以来规模最大的一次燃料电池汽车集中展示, 这不仅是对燃料电池汽车技术的一次考验, 也是对为燃料电池汽车提供氢源保障的加氢站的一次检验。

根据对世博期间燃料电池汽车每日行驶里程和单位里程耗氢量进行估算, 所有燃料电池汽车的日最大氢气需求量约600kg。考虑供氢安全系数和工程实际情况, 站内设置两辆长管拖车, 其储氢量约560kg,

储存压力不大于20MPa。站内固定储氢瓶组储氢量约500kg，储存压力不大于45MPa。站内总储氢量约1 060kg，属于三级站。

2.2 加氢站氢源选择

车用燃料电池用于发电的核心部件是由质子交换膜和阴、阳极催化剂组成的电极组件，其催化剂对碳氧化物、硫化物等一些杂质气体十分敏感，极易产生催化剂中毒现象，影响电池的正常工作的，所以需严格控制氢源中杂质气体的含量^[3]。

根据国、内外对质子交换膜燃料电池（PEMFC）对各种杂质耐受性试验的结果和燃料电池研发公司提出的要求，此次世博加氢站提供的氢气浓度应高于99.99%，并严格控制二氧化碳、一氧化碳^[4]、硫化物^[5]、氯、氨、氧、水分和颗粒物等杂质的含量。此次世博加氢站使用的氢气为上海焦化厂所生产的副产氢气，通过PSA变压吸附进行提纯，其氢气浓度和杂质的含量均达到了上述杂质的控制阈值范围之内。从目前的运行情况看，氢气的质量可以满足燃料电池汽车的正常运行要求。

2.3 加氢站类型选择

目前，国际上已建成或正在建设中的示范加氢站已经超过160座，这些加氢站主要分为两种类型，即离站制氢（Off-site）和站内制氢（On-Site）两类。考虑到世博期间燃料电池车辆的日氢气需求量大，而且对氢气的保障要求高，不允许发生脱气现象，因

此，该站选择离站制氢（Off-site）的模式，采用氢气长管拖车将小于20MPa的压缩氢气从生产单位运送进站后再通过站内压缩机将氢气增压卸载至站内高压储氢瓶组，以不大于45MPa的压力储存。车辆加氢时，从储氢瓶组中输出氢气，通过加氢机充装到燃料电池汽车的车载储氢瓶中。

加氢站是对高压氢气的储存、输配、加注等技术的综合应用，世博加氢站系统主要包括：氢气源（站外供氢）、氢气压缩系统（氢气压缩机）、氢气储存系统（高压储氢瓶组）、氢气加注系统（加氢机），此外还有高压氢气管线、阀门组件和安全、控制系统等^[6]，加氢站的工艺流程由图1所示。氢气长管拖车将小于20MPa的压缩氢气从氢气生产单位运送进加氢站，氢气经卸气柱卸载后通过氢气压缩机增压至43.8MPa储存到站内固定储氢瓶组中，氢气长管拖车也可作为站内的一级储氢装置，当对车辆加氢时，通过多级取气的模式从储氢瓶组中输出氢气，通过加氢机充装到燃料电池汽车的车载储氢瓶中。

2.4 加氢站总平面布局

加氢站是甲类火灾危险性设施，必须在设计上保证其安全可靠。在加氢站进行站址选择和站内建、构筑物及设备平面布局设计时，必须符合上海市城市规划和站区防火安全的要求，参照上海市地方规范《燃料电池汽车加氢站技术规程》，确保加氢站与站外重要公共建筑物、明火或散发火花地点、民用建筑和厂

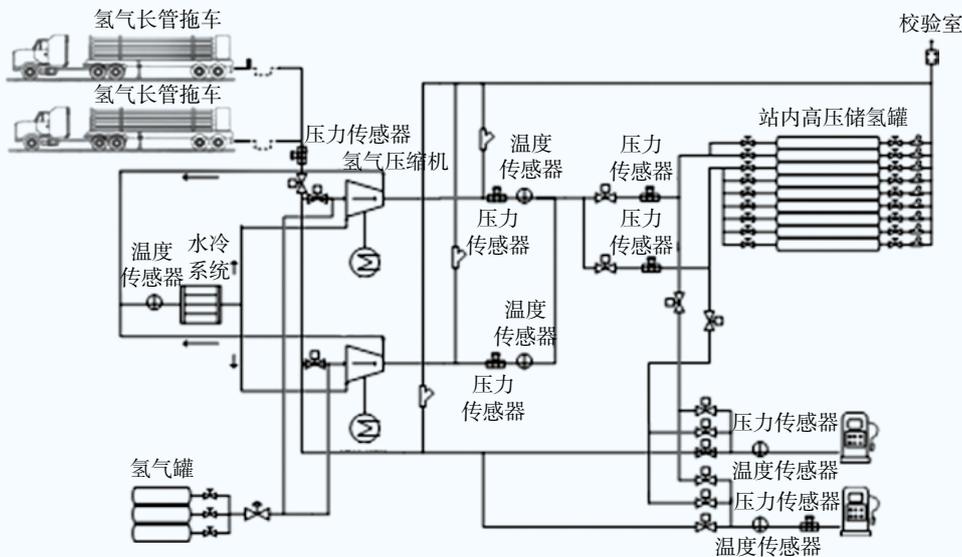


图1 离站制氢（Off-site）型加氢站工艺流程

房、库房、储罐、铁道、铁路、架空通信线、架空电力线路等保持足够的防火距离满足表1的要求。

在进行加氢站内部平面布局设计时,应当考虑站

内氢气压缩机间、储氢装置、加氢机、站房、变配电间等建构筑物的安全距离满足表2的要求,同时合理安排站内车辆行走路线,避免加氢车辆之间、加氢车

表1 加氢站内的工艺设施与站外建、构筑物的防火距离(m)

站外建、构筑物		储氢装置			氢压缩机 加气机	放散管管口
		一级	二级	三级		
重要公共建筑		50	50	50	50	50
明火或散发火花地点		40	35	30	20	30
民用建筑物保护类别	一类保护物	30	25	20	20	25
	二类保护物	25	20	16	14	20
	三类保护物	20	16	12	12	20
甲乙类物品生产厂房、库房和甲、乙类液体的储罐		35	30	25	18	25
其它类物品生产厂房、库房和丙类液体储罐以及容积不大于50m ³ 的埋地甲、乙类液体储罐		25	20	15	13	20
室外变配电站		35	25	25	22	30
铁路		25	25	25	22	30
城市道路	快速路、主干路	15	15	15	6	15
	次干路、支路	10	10	10	5	8
架空通信线	国家一、二级	不应跨越,且不得小于1倍电杆高度				
	一般					
架空电力线路	>380V	不应跨越,且不得小于1.5倍电杆高度				
	≤380V					

表2 加氢站站内设施之间的防火距离(m)

设施名称	储氢装置			氢气压缩机间	放散管管口	加氢机	营业房	消防取水口	其他建、构筑物	变配电间	道路	站区围墙	
	一级站	二级站	三级站										
储氢装置	一级站	6	-	-	9	12	12	15	24	20	12	8	5
	二级站	-	3	-	6	9	9	10	12	15	9	6	4
	三级站	-	-	1.5	3	6	6	5	6	10	6	4	3
氢气压缩机间					-	4	5	8	10	6	2	2	
放散管管口						6	5	6	10	6	4	3	
加氢机						-	5	6	8	6	-	-	
营业房							-	※	6	-	-	-	
消防取水口								-	6	-	-	-	
其他建、构筑物									-	-	-	-	
变配电间										-		-	
道路											-	-	
站区围墙												-	

辆与站内的氢气拖车之间行驶路线互相干扰。

2.5 加氢站的氢安全工艺

氢气的安全性问题一直是讨论的焦点。氢气属于甲类易燃气体，与天然气相比，氢气与空气混合形成的爆炸混合物具有更宽的爆炸极限范围（4.1%–74.1%），更低的着火能量（0.019mJ）。由于氢分子体积小，无色无味，因此极易泄漏并不易被察觉，易于在设备、容器和建筑物顶部积聚，遇明火、热源极易发生燃烧爆炸。

此外，氢对金属材料也存在一定的破坏性，如氢应力破坏、氢环境脆化、氢攻击、泡踵、氢化物生成、高压氢微细穿孔、流动性变差等现象^[7]，其中最应重视的是氢脆，所以，在选用储氢材料时必须选用抗氢脆材料，避免因氢脆而产生风险。

在世博加氢站的设计中，认真的考虑了氢气的储存、输配、加注全过程中用氢设备和氢气管路的安全性。对上述问题可能带来的危险隐患，应从技术上保证站内的设备、管路具有可靠的防渗透、防泄漏措施；在设计上保证泄漏的氢气能够及时扩散和排除；设置防雷、防静电保护设施；加氢站所有电器元件需达到标准、规范的防爆等级要求；站内各系统之间设置安全联动系统，具有安全联锁功能。

2.6 加氢站氢气增压系统

氢气增压系统是整个加氢站的关键组成。从氢气长管拖车上卸载下来的氢气通过氢气压缩机增压后储存在站内的高压储氢瓶组中，也可以通过压缩机直接增压对燃料电池车辆进行充装。

为了充分利用压缩机增压能力以及保证项目的正常运行和维护，氢气增压系统的技术参数的设置综合考虑了增压效率和运行效率之间的关系：正常吸气压力为5MPa–22MPa，额定排气压力为44MPa，单台最大压缩能力为20kg/h，45MPa。理论上按照上述参数设置的压缩机组每天只需运行8h，就可以满足世博期间车辆每日加氢的需求，其余时间可用于对压缩机及其外围的氢气管路进行日常检修和设备维护。

2.7 加氢站氢气加注工艺

目前，加氢站有2种氢气加注模式^[8]：一种是分级加注（Cascade Filling），采用该种模式的加氢站一般具有一定规模的站内固定储氢能力而且储氢压力一般需要达到40MPa–45MPa，这样才能对35MPa的

车载储氢瓶组进行快速的氢气加注；另一种是增压加注（Booster Filling），此时站内的储氢压力比较低（例如20MPa–25MPa），先对车载储氢瓶部分增压后，再启动氢气压缩机增压，使车载氢瓶的压力达到35MPa。采用前一种技术的优点是加气速度快，加氢站的利用率高，但在对压力较低的车载氢瓶加注开始阶段会由于压差过大导致氢气流速过快，从而使氢瓶内部升温过快；而后一种不需在站内储存高压氢气，还可以降低加注成本，但为了保证加气速度，需要的氢气压缩机容量较高。目前世界上加氢站大多采用第一种加注模式。

世博加氢站采用分级加注的工艺模式，在分析和研究该加注模式的优缺点后，对工艺做了进一步改进。将停在站内的氢气长管拖车也作为分级加注中的一级，由于该级压力较低，在对车载氢瓶时，首先从该级取气。这样可以降低加注时前、后端的压差，避免由于加注速度过快导致的车载氢瓶升温过快的问題，在一定程度上提高了氢气使用的安全性。

3 上海世博会加氢站关键设备集成

3.1 高压储氢装置

加氢站内压缩氢气的储存一般采用两种方式：一种是用具有较大容积的气瓶，该类气瓶的单个水容积在600L–1 500L之间，为无缝锻造压力容器；另一种是采用小容积的气瓶，单个气瓶的水容积在45L–80L，比较上述两种储氢系统的特点，可以看出采用大型储氢瓶组的一次性投资要高于小型的储氢瓶组，但由于大瓶组系统相对于小瓶组系统而言气阀、管件和安全附件的数量要少的多，可靠性和安全性高，且维护费用远低于小瓶组系统。

由于氢气需求量较大，世博加氢站以大型储氢瓶组作为站内的固定储氢装置，单个储氢瓶水容积为895L，储氢压力达到43.8MPa，按6瓶/组和9瓶/组共设置两组共15只ASME高压站用钢瓶，固定储氢总质量超过500kg。这些储氢瓶根据氢气加注控制策略的要求按1：2：2的比例被分为高压、中压和低压三级，每一级都设有专门的氢气管道将高压氢气从储氢瓶组输送至加氢机侧。采用大容量高压储氢装置和三级取气加注的模式，可以在短时间内将车内氢瓶迅速充

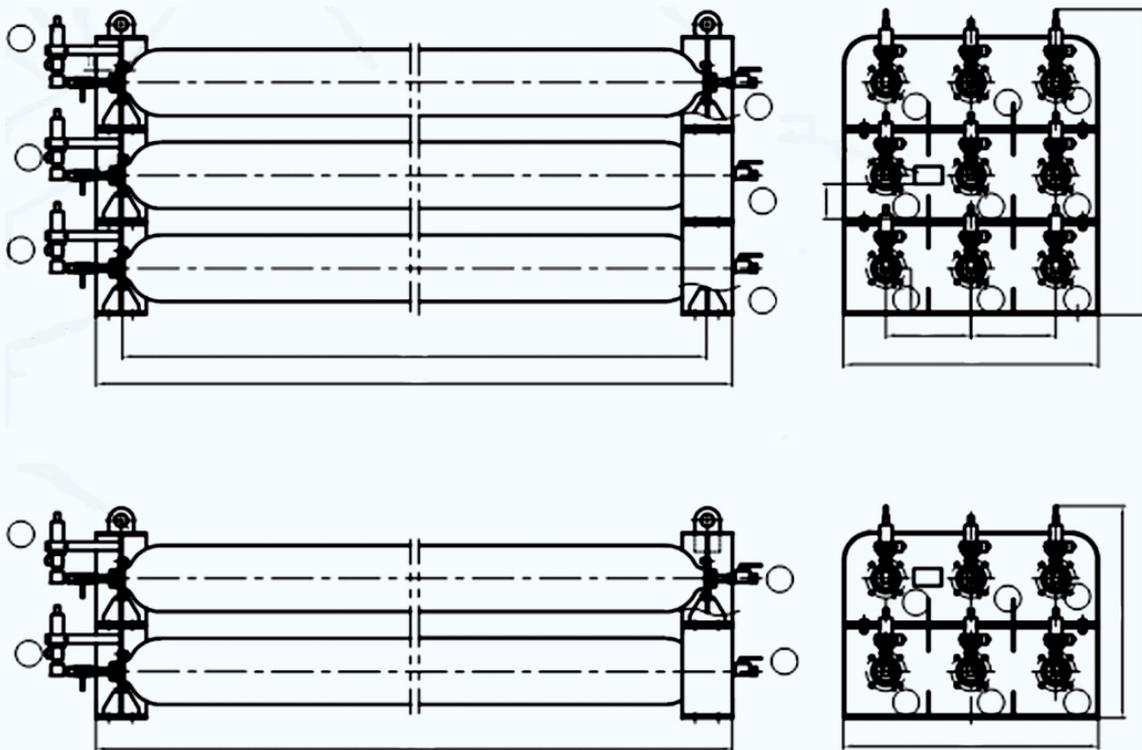


图2 世博加氢站站用高压储氢瓶组示意图

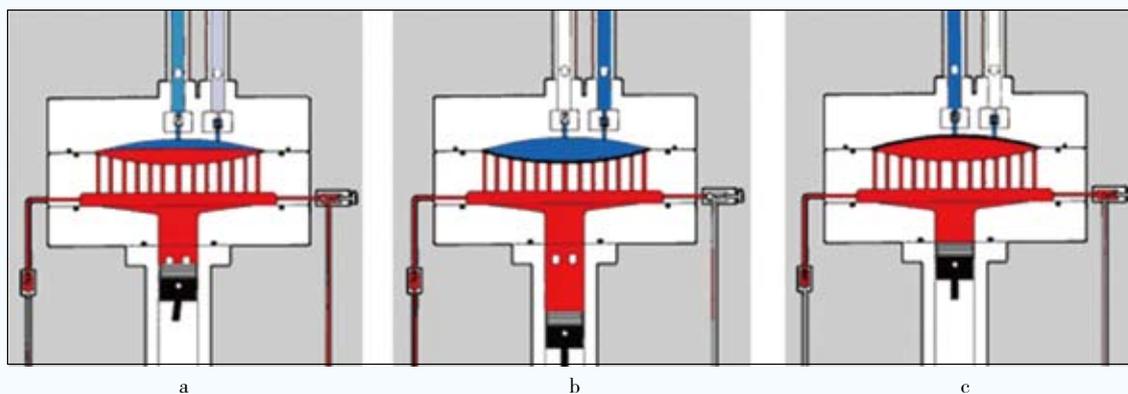


图3 隔膜式氢气压缩机原理示意图 (a-b吸气; b-c压缩)

满,实现车辆的快速加注。而且可以避免压缩机的频繁启动,优化了加氢站的工艺流程。

此外,为避免夏季日晒升温导致瓶组内氢气压力过高,在设计和安装时瓶组上方设置了冷水喷淋装置,一旦出现夏季气温过高的现象,对瓶组进行喷淋降温,避免由于高温而导致储氢瓶内氢气产生超压现象。

3.2 氢气压缩设备

常用的氢气压缩设备为隔膜式压缩机,该型压缩机靠金属膜片在气缸中作往复运动来压缩和输

送气体。膜片沿周边由两限制板夹紧并组成气缸,并由机械或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。金属膜片的厚度一般在 $0.3\text{mm} \sim 0.5\text{mm}$,将氢气与液压回路隔离开来,防止两者接触,保证氢气的纯度。氢气压缩机在整个加氢站中有着举足轻重的作用,是整个加氢站中最为关键的设备之一。目前,我国加氢站使用的氢气压缩机,基本上都是以进口国外设备为主。

世博加氢站内采用了4台隔膜式氢气压缩机,以

两台压缩机为一组，采用撬装式结构，每撬内的两台压缩机共用一套闭环冷却系统，但每台压缩机组的控制系统和放散系统都是相互独立的，相互不受影响。该压缩机系统最高可以将氢气增压至45MPa。4台压缩机的容量可达到80kg/h，45MPa，完全可以满足世博期间车辆每天的氢气加注需求。

3.3 氢气加注设备

作为氢气加注设备的加氢机与天然气加气机原理相似，整个加氢机一般由机壳、触控面板、软管、加氢枪、质量流量计、压力变送器、防爆电磁阀、气动阀、安全阀、连接管路和控制系统等组成。除此之外，还具有过压保护、环境温度补偿、拉断阀保护和泄漏报警系统等安全防护功能。由于氢气的加注压力达到35MPa，远高于天然气25MPa的加注压力，因此，对加注的安全性也提出了更高的要求。加氢机中使用的流量计、阀门、加氢枪、拉断阀需要做到计量准确、结构紧凑且能承受高压。

根据加注对象的不同，加氢机设置了不同规格的加氢枪（TK16、TK25），可分别为燃料电池轿车和燃料电池公交车进行加注，其最大加注流量分别控制在2kg/min和5kg/min。在该流量下加注一辆轿车约用时5min，加注1辆公交车需15min-20min。

此外，此次世博会有20辆使用IV型车载储氢瓶的燃料电池轿车，该型储氢瓶严格要求瓶内温度不得超过85℃。由于氢气的逆汤-焦效应和IV型储氢瓶材料本身的散热性能限制，需对加注的氢气进行预冷处理，氢气的温度降至-20℃左右再进行充装。同时根据SAE燃料电池汽车标准委员会制定的标准SAE J2601的要求，在IV型储氢瓶内设置测温点，通过红外通讯装置与加氢枪（TK17）进行数据传输，实时监控加注过程中瓶内的压力和温度变化，一旦出现超压或超温趋势将立刻停止氢气加注，从而保证加注过程的安全。

3.4 站控系统

作为加氢站的神经中枢，站控系统控制着整个加氢站的所有工艺流程有条不紊的进行，站控系统功能是否完善对于保证加氢站的正常运行有着至关重要的作用^[8]。因此，站控系统必须对加氢站具有全方位的实时监控能力。

站控制系统采用分布、分级的控制方式，分散控制、集中管理，整个加氢站的站控系统由两级计算

机组成。前置机（下位机）负责实时数据的采集功能；管理机（上位机）用于完成数据信号接受处理、显示、记录、控制和数据上传。在控制室集中显示加氢站内所有检测仪表、阀门状态、可燃气体检测等信号的监测，以及对阀门实现自动控制。站控系统可监视、控制整个加氢站运行的全过程，计算所需的技术参数，自动绘制参数的实时和历史趋势曲线。对站区采集的数据包括卸气系统、增压系统、储氢系统、可燃气体检测系统、火焰探测系统、视频监控系统及加气系统等所有数据。

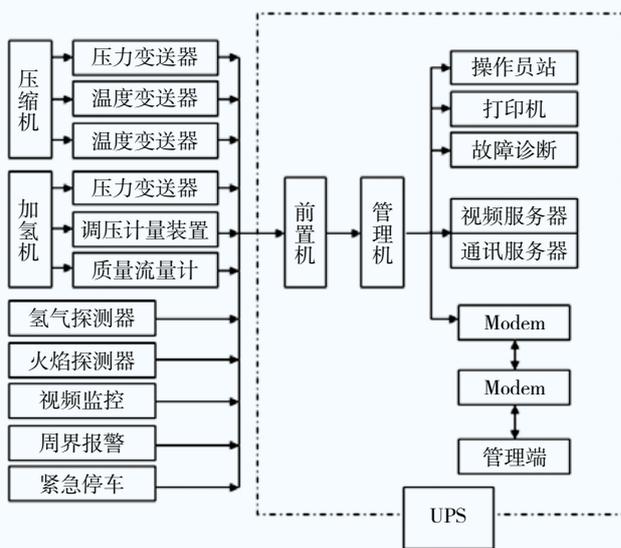


图4 加氢站站控系统示意图

加氢站站控系统实现了加氢站运行的自动控制，同时现场操作人员通过计算机显示可实时、在线了解站区内工艺运行情况，保障系统安全、可靠运行，同时完成加氢量的采集。

4 结论

世博会是一个展示我国新能源汽车发展与创新的重大机遇，此次参与世博期间运营的氢燃料电池汽车不论在数量、种类，还是在车辆的运营密度上均达到了一个前所未有的高度，需要强有力的氢气供应保障系统的支持。世博加氢站的建设涵盖了氢气的运输、卸载、增压、储存、加注以及系统控制等多个方面的相关技术，在建设过程中解决了多个技术难题，形成

doi:10.3969/j.issn.1671-5152.2011.11.004

安全标识在燃气管网安全管理中的规范化

□ 杭州钱江燃气有限公司(310018) 吴波 柴启萌

摘 要: 随着城市燃气管网规模的不断扩大,抢修事故、市政建设过程中对管道的违章占压以及人为损坏也日益增多,完善燃气安全标识的设置作为燃气企业安全管理的基础工作之一,可以进一步确保管网的安全运行。

关键词: 安全标识 安全管理 规范化 标准

燃气设施标识是管网系统必不可少的组成部分,发挥了安全警示和提示作用。随着城市燃气管网规模的不断扩大,抢修事故、市政建设过程中对管道的违章占压以及人为损坏也日益增多,作为燃气运营企业应进一步完善燃气安全标识的设置,做好标识制作与安装的规范化和标准化,确保燃气管网安全可靠地

运行。

1 燃气管网实际状况

近年来下沙开发区城市建设加快,天然气供气规模也逐步扩大,对管网的巡查要求较之过去已大大提

了一批具有自主知识产权的关键设备的设计、制造和使用技术,为燃料电池车辆提供了安全可靠的氢气供应保障,而且在整个世博会期间的示范运营将累积大量的实际使用经验,为未来燃料电池汽车市场化以及氢能基础设施的发展奠定坚实的基础。

参考文献

- 1 毛宗强.氢能——21世纪的绿色能源[M].北京:化学工业出版社,2006
- 2 潘爱华,沈寒友等.加氢站建设的经济性——UNDP-GEF加氢站设备选型[J].江西科学,2004;22(1):41-43

- 3 罗志平,李静,华周发.阳极气体杂质对PEM燃料电池性能的影响[J].电池工业,2009;14(1):48-52
- 4 沈猛,杨代军等.氢燃料气中CO和CO₂对PEMFC性能的影响[J].电源技术,2008;32(7):442-445
- 5 沈猛,杨代军等.适用于质子交换膜燃料电池的H₂中H₂S浓度阈值控制研究[J].西安交通大学学报,2008,42(8):1054-1058
- 6 蔡夏英.燃料电池汽车加氢站示范工程建设技术方案研究[J].上海建设科技,2005;2:6-8
- 7 王惠颖,张学军,任宏杰.燃料电池汽车用加氢站有关问题探讨[J].低温与特气,2007;25(5):1-3
- 8 潘爱华,马建新等.汽车用氢燃料加氢站系统配置的研究[J].工矿自动化,2003;6:17-19