

# 车用压缩天然气加气站的高压储气

王 协 琴  
(四川石油管理局)

王协琴. 车用压缩天然气加气站的高压储气. 天然气工业, 1998; 18(2): 65~ 68

**摘 要** 车用压缩天然气(CNG)加气站分慢加气和快加气两种类型,前者不需要设置加压气体储存设施,而后者则需要设置储存压力为 25 MPa 的 CNG 储气库。目前,国内、外的快加气站都采用储气瓶组或储气罐地上储气方式。但近年来我国四川地区接连发生的 8 起 9 只“站用瓶”和“车用瓶”爆破事故,使有些人对地上储存方式的安全性产生了怀疑,而采取了打储气井进行地下储气的方法。文章详细说明了在什么情况下需要设置 CNG 储气设施,以及为什么要在有条件的地方尽可能采用慢加气方式的道理;还从安全性和经济性出发,对地上容器储气和储气井地下储气进行分析对比,说明了地上容器储气是安全、可靠、经济的,并且安装使用也都很方便。储气井地下储气无法实施检漏、维修,不能移动搬迁,经济性又很差,因而在 CNG 快加气站上打储气井进行地下储气是没有必要的。

**主题词** 天然气 汽车 燃料 天然气储存

## CNG 汽车两种基本加气方式

### 1. 慢加气

在对加气时间无苛刻要求,停车场又不很贵的条件下的 CNG 加气方式叫做慢加气。具有代表性的例子是,对每天晚上回车场的汽车的夜间加气,这种加气方式是整夜用压缩机直接对汽车加气。压缩机将气送入通往每辆汽车的气体分配歧管中,再经售气机进入汽车燃料罐。加气时间随压缩机排量、加气汽车数量以及汽车燃料罐的容量不同而变化。

另外,典型慢加气系统的售气机或加气岗位是无人值守的。该系统主要由充气阀、压力表、软管和连接器组成;这样的构成不仅很经济,而且具有高的可靠性和安全性,能自动控制加气压力使其不超过规定值。

显然,慢加气不需要设置加压气体储存设施,从而减小了占地,大大降低了压缩机排量,充分利用空隙时间。夜间加气可避开白昼的用电高峰,并且又不需要专门设置人员照料操作,这是很经济的。因此,在具备慢加气条件的地方,要尽量采用慢加气方式。

### 2. 快加气

快加气系指对加气速度有苛刻要求的 CNG 加气方式。车队用户和公共 CNG 加气站的概念是,

汽车从下公路处算起的一次充加燃料时间平均为 3~ 6 min。事实上,为了实现在 3~ 6 min 的时间内完成一次加气,而将压缩机容量增加得很大是不可能的,因而需采取预先储存加压气体弥补压缩机排量不足的办法,使快加气系统具有比压缩机最大排量多得多的加气能力,显然这需要设置加压气体储存设施。这种设施通常是由 3 个储气瓶组组成的,被称为阶式(Cascade)储气系统,设计得好的阶式储气系统的取气率可高达 67%。

## 地上容器储气与地下储气井

### 1. 地上容器储气

这种储气是通过在 CNG 加气站内地面上安装的高压(25 MPa)储气罐或由若干储气瓶组成的气瓶组来实现的。在我国,这些高压储罐或储气瓶属三类压力容器。

#### (1) 地上容器储气既安全又可靠

二战以后,随着石油、天然气工业的迅速发展,冶金、机械制造技术的不断进步,对设计、制造 25 MPa 的天然气高压储器早已不存在任何困难。油气田早已大量使用高压天然气容器,有的压力等级比 25 MPa 高得多,有的天然气疏分压还相当高,都未出现爆破事故,那么为何会多次发生 CNG 储气瓶爆破呢?分析研究认为其根本原因是制瓶厂商不了解天然气特性,采用制造氧气瓶、氮气瓶等常规气

瓶的方法和手段来制造和检验天然气储气瓶所致。

根据天然气的特点, 尽管经过了脱硫处理, 天然气仍不可能绝对不含硫化氢; 在潮湿环境下, 硫化氢对淬火钢存在应力腐蚀危险。使用正火钢、淬火钢和某些不锈钢( 如 AISI 304) 还存在发生氢脆的危险。因此, 对于气体中硫化氢含量大于 5 mg/L, 同时储存气体总压大于气瓶正常储气压力一半时, 必须对正火钢和淬火钢进行应力限制<sup>[1]</sup>。

在我国商品天然气的现行指标条件下, 不管制瓶厂商选用碳钢还是 CrMo 钢制瓶, 都要对应力实

施限制。其做法是根据 NACE 标准要求, 按 ASME 锅炉和压力容器规范等(II篇第 iv 分篇的要求进行热处理, 并控制其硬度。对于 CrMo 钢, 不管是 30CrMo, 还是 35CrMo, 其硬度都不得大于 HRC 26<sup>[2]</sup>。为了保证气瓶的硬度值, 其抗拉强度设计值和实测值都要低于 950 N/mm<sup>2</sup> 的理论上限值, 通常要求不得超过 857 N/mm<sup>2[3]</sup>。

经统计, 发生爆破的储气瓶均为 35CrMo 材质的管制瓶, 现将其中两只的设计值和爆破后的检验结果列于表 1。

表 1 爆破储气瓶的应力和硬度设计值和实测值

编号	材质	$\sigma_b$ ( N/mm <sup>2</sup> )		$\sigma_s$ ( N/mm <sup>2</sup> )		$\sigma_s/\sigma_b$		HRC	
		设计值	实测值	设计值	实测值	设计值	实测值	设计值	实测值
A	35CrMo	980	1 150/ 1 180	830	1 075	0. 847	0. 935/0. 911	31. 5	36/ 37
B	35CrMo	875	1 060/ 1 070	740	945/ 950	0. 846	0. 892/0. 888	27. 0	34/ 35

注: 表中 A、B 两只瓶是两个厂家生产的。

从表 1 可见, 气瓶 A 的抗拉强度(  $\sigma_b$ ) 设计值和实测值都超过了理论上限值, 屈服强度比(  $\sigma_s/\sigma_b$ ) 实测值也大于限值, HRC 大大超过限值; 虽然气瓶 B 设计值除 HRC 略高于限值外, 其余都达到了要求,

但实测值都超过了限值。这说明气瓶 A 和 B 是无法抵抗硫化物应力腐蚀的。

现将两只 30CrMo 气瓶的检件检验结果列于表 2。

表 2 未爆破气瓶的应力和硬度设计值和实测值

编号	材质	$\sigma_b$ ( N/mm <sup>2</sup> )		$\sigma_s$ ( N/mm <sup>2</sup> )		$\sigma_s/\sigma_b$		HRC	
		设计值	实测值	设计值	实测值	设计值	实测值	设计值	实测值
A <sub>1</sub>	30CrMo	780	781/ 783	660	661/ 665	0. 846	0. 846/0. 849	21. 5	21. 6
B <sub>1</sub>	30CrMo	780	786/ 796	660	669/ 683	0. 846	0. 851/0. 858	21. 5	22. 5

注: 表中 A<sub>1</sub>、B<sub>1</sub> 两只瓶是一个厂家生产的。

从表 2 可见, A<sub>1</sub>、B<sub>1</sub> 两只气瓶的  $\sigma_b$ 、 $\sigma_s$  以及 HRC 均达到限值要求, 仅气瓶 B<sub>1</sub> 的  $\sigma_b$ 、 $\sigma_s$  略高于限值。

比较上列两表中的数值, 就不难理解为什么爆破的都是 35CrMo 气瓶了。

另外, 根据美国 1995 年 8 月再次发行的联邦安全标准, 明确了用作压缩天然气存储器和非金属带缠绕存储器内衬的 CrMo 铁基合金的化学成分( %): C 含量为 0. 25~ 0. 38, Mn 含量为 0. 40~ 1. 05, P 含量不大于 0. 015, S 含量不大于 0. 010, Si 含量为 0. 15~ 0. 35, Cr 含量为 0. 80~ 1. 15, Mo 含量为 0. 15~ 0. 25, Al 含量为 0. 02~ 0. 07<sup>[4]</sup>。该化

学成分与我国 CrMo 合金结构中的 30CrMo 相当, 其中 30CrMo, 碳含量则为 0. 26~ 0. 34。而 CrMo 合金结构钢中的 35CrMo, 碳含量则为 0. 32~ 0. 40, 其它成分和 30CrMo 完全相同。由于 35CrMo 的碳含量比 30CrMo 高, 要达到规定的抗拉强度和屈服强度比限值, 无疑要具有比处理 30CrMo 更高的工艺技术水平 and 热处理手段。

由此可见, 为了保证 CNG 储气瓶的质量必须根据天然气的特性, 建立 CNG 储气瓶制瓶和检验的一整套质保体系。只要制瓶厂商严格按规范规定组织生产和检验, CNG 地上容器储气就一定安全可靠。

(2) 地上容器储气既方便又经济

首先,地上容器储气系统的所有连接件都在地面上,有利于安装、检漏和维修,也便于拆迁,尤其适合于撬装设计。其次,其经济性也是明显的。以当前国内市场价为基础,每只水容积为 50 L 的 30CrMo CNG 储气瓶的零售价以 750 元计,则每升水容积的费用为 15 元。气瓶组装费为气瓶费用的 10%~15%,按 15% 计,折算成每升水容积为 2.25 元,投资总费用为每升水容积 17.25 元。

储气瓶组储气的缺点是连接件多。

2. 储气井地下储气

当前我国只有四川省某地区 CNG 加气站采用 CNG 储气井地下储气,其储气井结构见图 1。具体作法是,首先用  $\phi 304.8\text{ mm}$  钻头打一段几米到 10 米(根据地层情况确定深度)的井眼,下  $\phi 244.5\text{ mm}$  套管,以防止井壁垮塌,然后再换  $\phi 203.2\text{ mm}$  钻头继续下钻至需要的深度。完钻后下封了底的  $\phi 177.8\text{ mm}$  套管,紧接着进行固井,固定  $\phi 244.5\text{ mm}$  套管和  $\phi 177.8\text{ mm}$  套管,这样储气井就完成了。随后的工作就是装好井口并进行水压强度试验,试验完成后,排尽井中的水。按照工程技术要求,还必须进行气密性试验和氮气吹扫置换作业,但由于对地下储气部分的气密性结果无法检查并作出判断,因而,这两步作业没能进行。

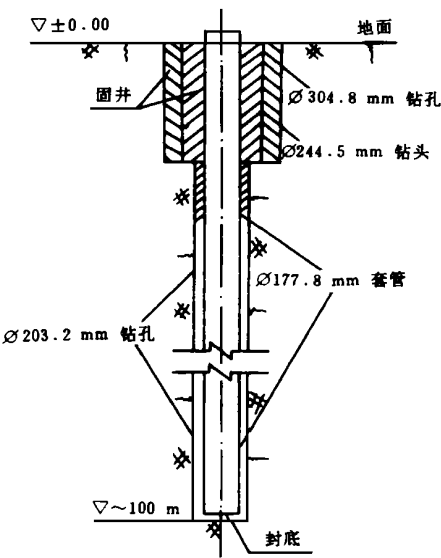


图 1 储气井结构

另外,从图 1 可见,由于固井水泥不能循环,因此,无法达到油气田上油气井的固井质量,只能起到固定套管的作用。一旦套管连接处泄漏,高压气就

要串入地层。

储气井的数量取决于所需储气量的大小,四川某地区的 CNG 加气站中,有的站打了 3 口井,有的站打了 6 口井。

图 1 所示的储气井其地下部分是无法进行检漏和维修的,并且一建成就无法作任何变更和拆迁。一旦发现套管连接处泄漏就只能报废,因此,要求整个作业一次成功。

CNG 加气站储气井的制作费用是十分昂贵的,现将四川某地区 CNG 加气站的储气井单井费用列于表 3。

表 3 储气井的投资费用

项目	费用(元)	备 注
设备搬、安	2 000	钻机及其配套设施
运输	2 720	
其他材料	3 600	
油料	2 900	
套管	64 911	$\phi 244.5\text{ mm}(\text{N}80\times 11.05)0.647\text{ t}$ $\phi 177.8\text{ mm}(\text{N}80\times 11.05)4.762\text{ t}$
修理费	1 200	固井 2 次,用水泥车 1 天
设备折旧	3 000	
试压	2 500	
固井施工	10 000	
人工费	2 880	
管理费	4 785	
营业税	3 457	
合计	103 955	

从表 3 所列套管算得其单井水容积约 1 884 L,每升水容积的投资费用为 55.2 元,是地上储气瓶储气总投资的 3.2 倍。

储气井储气的唯一优点是井口连接件比地上储气瓶少。

结 论

(1) 只有 CNG 快充加气站才设置加压气体储存设施,并设计成阶式储气瓶组以提高储气系统的取气率。

(2) 地上容器储气安全、可靠、经济,并且安装、使用也很方便。储气井地下储气无法检漏、维修,不能移动、搬迁,经济性很差。因而在 CNG 快充加压

# 压缩天然气和液化石油气 发动机电控喷气技术研究

孙济美\* 张纪鹏 方祖华 侯树荣  
(吉林工业大学内燃机研究所)

孙济美等. 压缩天然气和液化石油气发动机电控喷气技术研究. 天然气工业, 1998; 18(2): 68~72

**摘 要** 将压缩天然气(CNG)和液化石油气(LPG)气体燃料用作发动机燃料,采用缸外预混合的供气方式,其发动机功率损失和动力性降低,已成为推广使用中的难题。吉林工业大学内燃机研究所采用喷射技术,电控技术和计算机模拟技术,对进气门处喷射和缸内喷射的 CNG 和 LPG 发动机在整机性能,特别是动力性以及燃烧特性方面与汽油机的对比进行了系统的研究。研究表明,充气系数降低是缸外预混合式天然气发动机功率下降的主要原因。缸内直接喷气可大幅度提高充气系数;采用缸内喷气技术可恢复天然气发动机功率;提高压缩比可以提高天然气和 LPG 发动机的动力性和经济性,使功率下降得以部分补偿。研究成功了电控气体喷射器的驱动电路和高能点火系统驱动电路,解决了点燃式发动机强烈干扰问题。

**主题词** 压缩天然气 液化石油气 发动机 电 控制 燃烧 研究

车用气体燃料压缩天然气(CNG)和液化石油气(LPG),是采用缸外预混合的供气方式,其发动机功率损失和动力性降低,是推广使用中的技术难题。作者采用喷气技术、电控技术和计算机模拟技术,对 CNG 和 LPG 发动机的进气门处喷气及缸内喷气在不同压缩比情况下的整机综合性能及燃烧特性进行了系统的研究。研究工作以提高天然气发动机动力性为目标,首次提出并实现了缸内非高压直接喷射天然气的基本构思。在结构上和控制时刻上,将空气的吸入和天然气的喷入完全分开(见图 1、2),解决了天然气发动机充气系数下降的问题。研究工作表明充气系数降低是缸外预混合式天然气发动机功率下降的主要原因(见图 3、4)。缸内直接喷气,发动机可大幅度提高充气系数,其充气系数已高于原汽油机(见图 3),采用缸内喷气技术可恢复天然气发动机功率(见表 1)。提高压缩比可以提高天然气

和液化石油气发动机的动力性及经济性,使功率下降得以部分补偿,通过更换缸盖进行了三种压缩比( $\epsilon$ )试验(见表 1、2)。

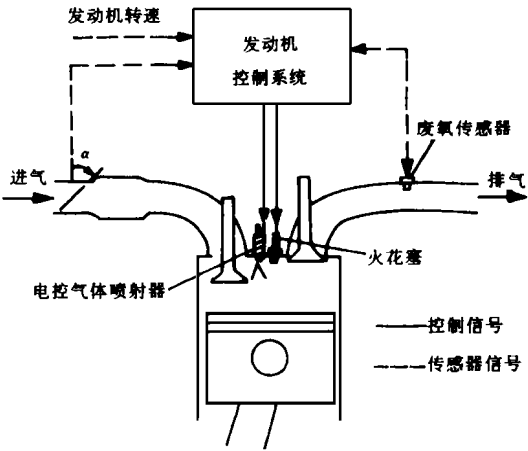


图 1 发动机缸内直接喷气技术示意图

站上采用储气井地下储气实属没有必要。

### 参 考 文 献

1 ISO/ RT 13763. 1994(E)

2 Sulfide stress cracking resistant metallic for oil field equip-

ment. NACE standard MR-0175-91

3 Compressed natural gas fuel container integrity. FMVSA Regulation 49 CFR 571. 304, NHTSA

4 Compressed natural gas fuel motor vehicle safety standard. No. 304 Federal safety standard MVSS 304

(收稿日期 1997-10-13 编辑 王瑞兰)

\* 孙济美, 1932 年生, 教授; 1955 年毕业于天津大学内燃机专业, 现任吉林工业大学, 内燃机研究所所长, 在国内外著名刊物和 SEA 年会发表研究论文 60 余篇。地址: (130025) 吉林省长春市人民大街 142 号。电话: (0431) 5684877。

Public Traffic Corporation. Add: No. 11, Tongshunqiao Street, Chengdu, Sichuan( 610017) , China Tel: (028) 6622951—3079

## REFIT AND APPLICATION OF NATURAL GAS VEHICLES

Zhu Yanmin, Liu Youping, Jiang Deping and Yue Xiaolin(Nanchong Machinery Factory of Sichuan Petroleum Administration) and Zhou Na( Machkinetic Department of Sichuan Petroleum Administration ). *NATURAL GAS IND.* v. 18, no. 2, pp. 61~ 64, 3/25/98. ( ISSN 1000-0976; In Chinese)

**ABSTRACT:** Owing to the fact that in the compressed natural gas ( CNG ) vehicle refitted from the gasoline one, its oil-supply system is retained and a set of storage, supply and control systems are increased, the vehicle which the gasoline can be only used as its fuel may be refitted into the bifuel one, i. e. not only the gasoline but also the CNG can be applied. Through technical performance test, it is shown that as regards the CNG vehicle refitted from the CAIOB one, when the natural gas is used as its fuel, its maximum power and torque are respectively 85% and more than 90% those of it, when the gasoline is used, but the former's harmful substance discharged is only about 20% that of the latter. Its safety and reliability are embodied as follows: the storage, transportation and filling of the CNG are carried out in the seriously sealed pipelines and it is not easy to be leaked out; the safety coefficients of 150% ~ 400% are retained for all the high pressure system parts of the equipments for storing and transporting CNG; and the safety valves are mounted on the gas storage cylinders and pressure reducing valves. In addition, the operation, application and trouble clearing are stated in greater detail.

**SUBJECT HEADINGS:** Natural gas, Gasoline, Automobile, Fuel, Structural analysis, Performance test, Safety measure, Fault analysis

**Zhu Yanmin** (engineer), born in 1963, graduated in machine manufacturing from Chengde School of Petroleum in 1981 and has been engaged in the research and development of compressed natural gas automobiles. Now he is the associate secretary of the party committee of Nanchong Machinery Factory, SPA. Add: No. 73, South Shiyou Road, Nanchong, Sichuan ( 637000 ), China Tel: (0817) 2220355—3207

## HIGH-PRESSURE GAS STORAGE AT THE FILLING STATION OF VEHICLE COMPRESSED NATURAL GAS

Wang Xieqin ( Sichuan Petroleum Administration ). *NATURAL GAS IND.* v. 18, no. 2, pp. 65~ 68, 3/25/98. ( ISSN 1000-0976; In Chinese)

**ABSTRACT:** The filling station of vehicle compressed nat-

ural gas ( CNG ) may be divided into two types of slow gas-filling and quick gas-filling. The former needs not to set up any pressurized gas storage equipment, but the latter needs to set up a CNG storage depot with a storage pressure of 25 MPa. At present, the domestic and foreign quick filling stations are all built on the earth surface through adopting a group of gas storage cylinders or gas storage tank. However, the explosion accidents, successively caused by five " station cylinders " and four " vehicle cylinders " in Sichuan in recent years have made some people be in doubt about the surface storage method and adopt underground storage method by drilling gas storage wells. In this paper, the conditions being in need of setting up the CNG storage equipments and the reasons of why the slow gas-filling method should be adopted wherever possible are stated in detail, and in consideration of the safety and economization, the analysis and contrast between the surface receiver storage and the underground storage by gas storage wells are carried out, which indicates that the former is safe, reliable and economic, being quite convenient to install and apply. Because the leak detection and maintenance cannot be carried out for the underground storage by gas storage wells, it cannot be moved and its economic benefit is bad, it is not necessary to drill the gas storage wells for the underground storage at the quick CNG-filling station.

**SUBJECT HEADINGS:** Natural gas, Automobile, Fuel, Natural gas storage

## A RESEARCH ON THE ELECTRONIC CONTROLLED GAS INJECTION TECHNIQUE OF THE COMPRESSED NATURAL GAS AND LIQUEFIED PETROLEUM GAS ENGINE AND ITS BURNING PERFORMANCE

Sun Jimei, Zhang Jipeng, Shun Zhijun, Fang Zuhua and Hou Shurong( Institute of Internal Combustion Engines, Jilin University of Technology ). *NATURAL GAS IND.* v. 18, no. 2, pp. 68~ 72, 3/25/98. ( ISSN 1000-0976; In Chinese)

**ABSTRACT:** By taking the gaseous fuel of the compressed natural gas ( CNG ) and liquefied petroleum gas ( LPG ) as the engine fuel and owing to adopting the out-cylinder premixed gas-filling method, the power loss and dynamic property decrease of the engine have prevented its popularization and application. A system research on contrasting the integral engine performance, especially the dynamic property, and combustion characteristics of the CNG and LPG engine with those of gasoline engine for the intake port injection and the in-cylinder injection respectively was carried out by the Institute of Internal Combustion Engines, the Jilin University of Technology, by use of the techniques of the injection, electronic control and computer simulation. Through research it is shown that the reduction of gas-filled coefficient is the major reason causing the decrease of the out-cylinder premixed natural gas engine power; the gas-filled coefficient may be greatly raised by the in-cylinder direct gas injection; the power of natural gas engine may be recovered by use of the in-cylinder gas injection technique; and the dynamic prop