

# 压缩天然气汽车 改装与维修

Yasuo Tianranqi Qiche Gaizhuang yu Weixiu

■ 邵毅明 主 编  
刘建勋 副主编  
简晓春



人民交通出版社  
China Communications Press



# 压缩天然气汽车 改装与维修

Yasuo Tianranqi Qiche Gaizhuang yu Weixiu

邵毅明 主 编  
刘建勋 副主编  
简晓春



人民交通出版社

## 内 容 提 要

本书主要针对从事汽油—压缩天然气(CNG)两用燃料汽车改装、维修技术工作的工程技术人员、检验人员及技术工人而编写,亦可供相关管理人员和驾驶员参考。全书共9章,首先分析了天然气作为汽车燃料的理化性质和天然气汽车的性能;其次介绍了几种典型CNG装置的构造和工作原理;介绍了CNG两用燃料汽车改装、维修及安全方面的标准、技术规范、改装维修工艺应用实例;对天然气柴油双燃料汽车、电控喷气技术和CNG加气站亦作了简要介绍。书中大部分内容已在部分天然气汽车改装企业技术人员、技工培训中使用过。

### 图书在版编目(CIP)数据

压缩天然气汽车改装与维修/邵毅明主编. —北京:  
人民交通出版社, 2004.4  
ISBN 7-114-05006-2

I. 压... II. 邵... III. ①天然气-燃料-汽车-  
改装②天然气-燃料-汽车-车辆修理 IV. U469.75

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第020664号

### 压缩天然气汽车改装与维修

邵毅明 主 编

刘建勋 副主编

简晓春

正文设计:姚亚妮 责任校对:王静红 责任印制:杨柏力

人民交通出版社出版发行

(100011 北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号)

各地新华书店经销

三河市宝日文龙印务有限公司印刷

开本:787×1092 1/16 印张:8.75 字数:213千

2004年5月 第1版

2004年5月 第1版 第1次印刷

印数:0001—3000册 定价:15.00元

ISBN 7-114-05006-2



天然气汽车是目前世界上公认的节油、低污染、经济、安全的新型代用燃料汽车。特别是它的低污染性,正日益受到世界各国的广泛重视。

汽车作为现代社会的重要交通工具,在促进经济发展和方便人民生活的时候,也给人类造成了严重的空气污染。汽车对城市空气的污染在西方国家已占污染源总量的 60%~70%。我国城市拥有的汽车总量远不如一些发达国家多,但由于我国的单车排污浓度比国外同类车高 3~10 倍,甚至数十倍,因此在一些大城市(如北京、上海、重庆、广州等)里,汽车已成为主要的空气污染源。解决汽车排污问题,已成为全球关注的重要课题。

研究表明,天然气汽车排污大大低于以汽油、柴油为燃料的汽车。CO 可降低 80%,HC 将下降 60%, $\text{NO}_x$  降低 70%,且尾气中不含硫化物和铅。因此,许多国家将发展天然气汽车作为一种减轻大气污染的重要手段。我国天然气储量丰富,正处于上升发展阶段,研究和发 展天然气汽车,对我国的汽车节油和环保都具有重要的现实意义。

天然气汽车除了其环保能源优势之外,还有多方面的社会效益。目前,能够估算出的社会效益主要有:一辆中型车改装成两用燃料汽车后,每年可节约燃料费约 1.3 万元,可替代约 10.5t 汽油,可节约 50% 以上的维修费用,可充分利用过去不便利用的零散气,且可减少油品的长途运输费用。此外,天然气汽车的发展还将带动相关产业,特别是机械制造业的发展,如压缩机、车用燃器装置及储气瓶的生产,为开创新兴产业提供了机遇。

天然气作为汽车燃料于 20 世纪 30 年代初由意大利人率先利用,到 2002 年末全世界压缩天然气(CNG)汽车数量已超过 280 万辆,加气站 6500 余座。我国从 20 世纪 50 年代开始使用低压气囊式天然气汽车,80 年代末 CNG 汽车在四川率先投入商业应用。2002 年全国 CNG 汽车已超过 69300 辆。目前,CNG 汽车技术已经成熟,我国已能生产和国外相当的 CNG 汽车产品和加气站设备,并制定了相应的国家标准和行业标准,已具备大面积推广应用的经济和技术条件。从 20 世纪 90 年代中后期开始,国内许多大中城市,特别是一些贫油富气和大气污染严重的城市,已相继决定大力发展 CNG 汽车。



但是,对国内天然气汽车示范城市的天然气汽车改装质量和应用效果的调查结果表明,有1/3的车辆改装质量完全不合要求,有的甚至在油耗和废气排放方面高于原汽油机,只有1/3的基本符合要求。对重庆市在天然气汽车改装质量方面的调查表明,也存在改装厂工程技术人员和改装工人不懂天然气汽车的改装技术及专业知识,设备条件差,管理不顺等问题。所以,在推广发展CNG汽车的过程中,特别是天然气汽车改装技术及工艺和维修技术等方面已深感技术人才严重缺乏,它已阻碍了该技术的推广应用。因此,对已具备一定条件的CNG汽车改装生产和维修企业的工程技术人员及工人作必要的技术培训已成为当务之急。

本书主要针对从事汽油—压缩天然气(CNG)两用燃料汽车改装、维修技术工作的工程技术人员、检验人员及技术工人而编写,亦可供相关管理人员和驾驶员参考。全书共9章,首先分析了天然气作为汽车燃料的理化性质和天然气汽车的性能;其次介绍了几种典型CNG装置的构造和工作原理;介绍了CNG两用燃料汽车改装、维修及安全方面的标准、技术规范、改装维修工艺应用例子;对天然气柴油双燃料汽车、电控喷气技术亦作了简要介绍。书中大部分内容已在部分天然气汽车改装企业技术人员、技工培训中使用过。

本书由重庆交通学院邵毅明教授任主编,刘建勋、简晓春副教授任副主编。第一、二章由简晓春编写,第三、四、八章由刘建勋编写,邵毅明编写第五章,侯晓梅编写第六、七章,第九章由赖树柏编写。重庆汽车研究所副所长、重庆市天然气汽车推广应用专家组组长、研究员张振堃等主审。

在本书编写出版过程中,得到了重庆市天然气汽车推广领导小组、重庆市科委、重庆市交通委员会、重庆市道路运输管理局、重庆恩洁威公司、四川西恩基机电有限责任公司、自贡天然气汽车研究所、人民交通出版社等单位领导和领导的大力支持;参考引用了国内外大量文献资料。在此,对各级领导、文献作者和所有关心支持本书编写的同志表示衷心的感谢!还要特别感谢吉林大学孙济美教授对本书编写的大力支持,以及束海波等同志在图文处理上所做的工作。由于CNG汽车近几年才开始大面积推广应用,限于编者水平和经验,书中难免存在不足之处,敬请广大同行和读者批评指正。



|                                                 |    |
|-------------------------------------------------|----|
| <b>第一章 概述</b> .....                             | 1  |
| 第一节 天然气汽车.....                                  | 1  |
| 第二节 天然气的特性.....                                 | 9  |
| 第三节 国内外天然气汽车发展与展望 .....                         | 14 |
| <b>第二章 天然气汽车的性能</b> .....                       | 27 |
| 第一节 天然气汽车的动力性和燃料经济性 .....                       | 27 |
| 第二节 天然气汽车的排放性能 .....                            | 31 |
| 第三节 恢复天然气汽车动力性的途径和措施 .....                      | 34 |
| <b>第三章 两用燃料汽车构造及工作原理</b> .....                  | 38 |
| 第一节 车用压缩天然气装置工作原理 .....                         | 38 |
| 第二节 CQCNG 型车用压缩天然气装置的主要部件构造<br>及工作原理 .....      | 41 |
| 第三节 CYTZ - 100 型车用压缩天然气装置的主要部<br>件构造及工作原理 ..... | 47 |
| <b>第四章 电控喷气技术</b> .....                         | 53 |
| 第一节 电控喷气供气方式 .....                              | 53 |
| 第二节 电控喷气系统 .....                                | 54 |
| <b>第五章 两用燃料汽车改装技术</b> .....                     | 62 |
| 第一节 两用燃料汽车改装的行业管理 .....                         | 62 |
| 第二节 两用燃料汽车改装的一般生产条件与试验检测 .....                  | 65 |
| 第三节 两用燃料汽车改装的方案和工艺流程 .....                      | 69 |
| 第四节 两用燃料汽车改装的一般技术条件和要求 .....                    | 77 |
| 第五节 两用燃料汽车改装的检验与调整 .....                        | 82 |
| <b>第六章 CNG—柴油双燃料汽车</b> .....                    | 85 |
| 第一节 CNG—柴油双燃料发动机燃料供给系统组成及工作原理 ..                | 86 |
| 第二节 CNG—柴油双燃料发动机燃料供给系统主要部件结构及工作<br>原理 .....     | 87 |
| 第三节 CNG—柴油双燃料汽车的正确使用与维护 .....                   | 91 |
| <b>第七章 两用燃料汽车的维护与修理</b> .....                   | 95 |



|             |                                 |            |
|-------------|---------------------------------|------------|
| 第一节         | 两用燃料汽车的维护 .....                 | 95         |
| 第二节         | 天然气装置的检修 .....                  | 101        |
| <b>第八章</b>  | <b>两用燃料汽车常见故障及排除 .....</b>      | <b>108</b> |
| 第一节         | CQCNG 型天然气装置常见故障及排除 .....       | 108        |
| 第二节         | CYTZ - 100 型天然气装置常见故障及排除 .....  | 111        |
| <b>第九章</b>  | <b>两用燃料汽车使用及改装维修的安全管理 .....</b> | <b>118</b> |
| 第一节         | CNG 汽车的使用安全管理 .....             | 119        |
| 第二节         | CNG 汽车的改装与维修安全管理 .....          | 125        |
| 第三节         | 交通事故的预防与提高 CNG 汽车安全性的措施 .....   | 127        |
| <b>参考文献</b> | .....                           | <b>130</b> |





## 第一章 概述

天然气作为一种清洁燃料应用于汽车,正日益受到世界各国的重视。这不仅是由于天然气具有环保和经济方面的优势,还因为它对燃料的多样化和能源供应的可靠性方面的保障作用。环顾世界上的一些国家如:意大利、美国、日本、俄罗斯、新西兰等,天然气汽车正在逐渐成为一门新的产业。而且从发展的趋势看,天然气汽车的应用范围将会逐渐扩大。

在我国推广使用天然气汽车,可以充分利用丰富的天然气资源,改善能源的消费结构,缓解石油能源之不足,减少环境污染,并可获得良好的经济效益和社会效益,对未来中国的燃油结构和汽车工业的发展将会产生重大的影响。

### 第一节 天然气汽车

#### 一、天然气汽车

天然气汽车以天然气作为燃料,它是气体燃料汽车的一种。同其他气体燃料相似,天然气的能量密度(即单位体积燃料所含能量)比石油燃料低得多。因此,如果不采取特殊的技术措施,天然气汽车是跑不远的。为了提高天然气燃料的能量密度从而在汽车上使用,或是把天然气加压,或是把天然气液化提高其能量密度以便于汽车携带。天然气压缩后装在高压气瓶中放在车上相当于普通汽车的油箱。为了多装燃料,气瓶中气压一般为 20MPa,这就是所谓的CNG(Compressed Natural Gas)汽车,也就是压缩天然气汽车。另外一种是将天然气液化(常压下 $-162^{\circ}\text{C}$ )后装入低压保温容器中放在汽车上,就是所谓的LNG(Liquid Natural Gas)汽车,也就是液化天然气汽车。还有一种,称为吸附天然气汽车,即ANG(Absorbed Natural Gas)汽车。它是借助吸附剂对天然气的有效吸附,将天然气储存在填充有吸附剂的容器中,从而在较低的压力下使容器中的天然气储存密度成倍增加。ANG具有储存压力低(3~5MPa),可降低加气站和储存容器的费用,操作简单,安全可靠等优点。ANG汽车的关键技术是要有性能良好的吸附剂。目前大多数研究者认为:活性炭是较好的天然气吸附剂。但常规的化学或物理活化法制备的活性炭还不能满足吸附天然气的填充密度和孔径分布等的要求,因此ANG汽车目前尚未进入商业化推广应用阶段。

在油田轻烃回收装置中处理天然气时和在石油炼制过程中都有一种以丙烷和丁烷为主的副产品,它们也是天然气组成的一部分,比较容易液化,而在常压下又是气态,与日常家用的液化气非常相似,也可以作汽车燃料。这就是所谓的LPG(Liquefied Petroleum Gas),也叫做液化石油气。

由于目前天然气作为燃料的汽车绝大部分是由原来的汽油汽车和柴油汽车改装的,考虑





到改装后汽车行驶的通用性,通常将原来的燃料系统保留不变,就是说改装后的汽车既可使用原来的汽油或柴油工作,也可以用天然气工作,但不同时使用,一般称之为“两用燃料汽车”(Bi-Fuel)。另外,还有一种“双燃料汽车”,所谓“双燃料”的概念是指汽车的发动机同时使用两种燃料,如柴油汽车改用天然气燃料时,其中有一种方式是原来发动机的柴油燃料系统保留,用少量柴油喷入气缸来将天然气点燃,这种能使两种燃料同时在气缸中工作的情况称为“双燃料”(Dualfuel)方式工作,以这种方式工作的汽车就称为“双燃料汽车”。

天然气之所以能得到世界各国的广泛重视和大范围的推广应用,是因为与石油燃料汽车相比,天然气汽车有许多独特的优点。这些优点主要表现在以下几方面:

### 1. 可以替代十分短缺的汽油、柴油,充分利用天然气资源

汽车是重要的交通和运输工具,汽油、柴油是其主要的液体动力燃料。据不完全统计,目前全世界每年消耗车用汽油量约 8 亿 t,车用柴油需求和消费量也逐渐增加。

寻求内燃机的替代能源是目前乃至将来汽车科技工作者的一个重要课题,以适应石油储量的有限和人类对环境保护提出越来越高要求之需要。鉴于天然气的丰富储量、分布广泛又利于保护环境等特点,世界能源专家在诸多的替代能源中看好天然气。

天然气是一种资源丰富的气体能源,它具有价格较低、环境污染较小、安全可靠和用途广泛等优点,是一种理想的汽车代用燃料。据现已探明的世界石油总储量计算,地球上石油蕴藏量已被开采消耗掉一半。如果按现在全世界石油的日需求量 6500 万桶再加上增长的 150 万桶计算,预计不到 2035 年,地球上现有石油储量将被消耗殆尽。然而,世界已探明的天然气储量按目前的采气速度至少可以使用到 2060 年。因此,以天然气代替石油产品作为汽车燃料,是世界新能源战略现实的选择。

我国不是能源大国,我国石油储量占世界总储量的 4%,人均占有量只相当于世界平均水平的 22%。据有关资料,1996 年世界石油探明可采储量 1380 亿 t,在我国仅为 31 亿 t 左右,除去已动用的外,剩余石油资源不多。在我国原油生产中,一些大油田、老油田经过长期开采,尤其东部地区可供开发的探明储量增长满足不了稳产的需要。西部地区资源远景虽然看好,但勘探开发费用很高。总的来看,国内原油资源不足的矛盾越来越突出,远远适应不了高速发展的汽车工业和其他行业的需要。1993 年起我国已经成为石油净进口国,当年进口石油 2000 万 t,1997 年,进口原油较上一年增长了 160 万 t。

到 1998 年底,我国汽车保有量已达 1319 万辆,居世界第 12 位,至 2002 年我国汽车保有量已达 2035 万辆。

由于汽车数量的逐年增加,车用汽油生产和消费同步增加。比如,1978 年,车用汽油产量和消费量分别为 990 万 t 和 720 万 t。到 1988 年,车用汽油产量和消费量达到了 1880 万 t 和 1700 万 t。进入 90 年代由于经济建设的高速增长,汽车交通运输的快速发展,到 1993 年,车用汽油产量近 3000 万 t,消耗达 2800 万 t。

我国石油资源有限,取之不多,而天然气储量丰富,正处于上升发展阶段,特别近几年,相继在柴达木、塔里木、陕甘宁、东海、南海发现大型天然气气田,这标志着中国天然气时代即将到来,发展天然气汽车将成为调整能源结构的有效途径。

### 2. 能有效减轻大气污染

当 1943 年 9 月美国洛杉矶的天空第一次出现彩色烟云,市民感到头晕、喉痛时,人们还不



知其原因。到 20 世纪 60 年代,人们才确知是汽车排放物所致,这种光化学烟雾才开始被人们所重视。1968 年美国加利福尼亚州率先制订了世界上第一个限制汽车排放物的法规,而后世界上一些工业发达国家相继也制订各种法规标准限制汽车排放物。

特别是进入 90 年代以后,人们进一步认识到赖以生存的地球大气环境受到严重破坏,已直接影响到人类的健康。为此,人们提出了优化地球环境的新概念。

汽车排出的废气是当今对大气环境、尤其是大城市里的空气污染的一种移动式污染源,它对城市空气的污染在西方国家占污染源总量的 60% ~ 70%。据法国能源局测定,一辆轿车每年排除的有毒废气比轿车本身重量大 3 倍。目前世界汽车保有量约 9 亿辆,每年向大气排出的有害气体达 75 亿 t。研究证明,以石油为燃料的汽车排放物达 140 种,其中主要有害成分包括氮氧化物( $\text{NO}_x$ )、硫化物( $\text{SO}_x$ )、二氧化碳( $\text{CO}_2$ )、一氧化碳( $\text{CO}$ )、碳氢化合物( $\text{HC}$ )、甲醛( $\text{HCHO}$ )及多环芳烃( $\text{PAHS}$ )和一些有毒的重金属如铅( $\text{Pb}$ )、砷( $\text{As}$ )、镉( $\text{Cd}$ )等。其中  $\text{NO}_x$ 、 $\text{SO}_x$  会造成酸雨破坏农作物及森林; $\text{NO}_2$ 、 $\text{CO}_2$  及  $\text{CH}_4$  是引起较强温室效应使大气变暖的气体; $\text{NO}_x$  和  $\text{HC}$  是产生光化学烟雾的元凶, $\text{CO}$ 、 $\text{O}_3$ 、 $\text{SO}_x$  及含重金属在内的碳烟都直接危害人类健康,如  $\text{SO}_2$ 、 $\text{Pb}$  都会造成心血管、神经性疾病, $\text{HCHO}$  更有显著的致癌效应等。美国自然资源防护委员会的报告指出,美国每年因空气污染造成心脏病和肺病致死的人达 6.4 万。

我国大气环境不容乐观,城市拥有的汽车量远不如一些发达国家多,但我国单车排放浓度比国外同类机动车要高 3 ~ 10 倍,甚至数十倍。据 1995 年中国环境状况公报,北京市大气环境中 60% 的  $\text{CO}$ , 74% 的  $\text{HC}$ , 22% 的  $\text{NO}_x$ , 是由汽车尾气造成的。上海 1993 ~ 1994 年的监测结果, $\text{CO}$  日平均浓度超过国家标准比率 27%, 最大超过 2.1 倍, $\text{NO}_x$  日平均浓度超标达 9 倍。广州距地面 20m 高空有 88% 的  $\text{CO}$ , 80% 的  $\text{NO}_x$  和 90%  $\text{HC}$  来自汽车,而这些排放物,上海医科大学在“机动车排除物毒性及其健康危害的研究”报告指出,可导致人体细胞对疾病免疫力和抗肿瘤免疫功能明显下降,甚至致癌。这无疑是对汽车行业的挑战,如何解决大气污染问题,已成为全球关注的重要课题。

人们在控制汽车尾气污染技术方面已作了大量的努力:车辆的电喷技术:旨在控制车辆于最佳运行状态,污染降至最低;催化技术:旨在通过转换降低有害物质排除量;燃料替代技术:寻找污染小的经济型燃料以替代传统的汽油。这其中,燃油替代技术很有发展潜力。首先燃油替代品自身应能降低污染物的排量。其次,与其他技术如电喷技术和催化技术配套,能够进一步降低污染物排量。目前,在燃油替代品方面最成熟,经济供给量最大的当属压缩天然气( $\text{CNG}$ )和液化石油气( $\text{LPG}$ )。

天然气汽车的排气污染大大低于以汽油为燃料的汽车,尾气中不含硫化物和铅,一氧化碳降低 80%,碳氢化合物降低 60%,氮氧化物降低 70%。因此,许多国家将发展天然气汽车作为一种减轻大气污染的重要手段。

### 3. 有显著的社会、经济效益

各国的压缩天然气、液化石油气以及汽油的价格不尽相同。然而在绝大多数情况下,使用压缩天然气或液化石油气要比使用汽油省钱。有许多因素会影响车辆实际的燃油费用,但我们可以根据下列公式快速估算使用压缩天然气和液化石油气的盈亏平衡点。

计算公式为:





$$\text{盈亏平衡点 } G = \frac{\text{年额外花费}}{\text{每公里节省费用}} = \frac{D + E}{A/B - HC/K}$$

$$\text{年节约费用 } R = (F - G)(A/B - HC/K)$$

式中:  $A$ ——汽油每升的价格;

$B$ ——每升汽油所跑的公里数;

$C$ ——燃气每升的价格;

$D$ ——燃气附加税(如有);

$E$ ——系统的年折旧;

$F$ ——预期(所跑)的年公里数;

$G$ ——盈亏平衡点;

$H$ ——1.08(液化石油气)或0.83(压缩天然气);

$K$ ——每升燃气所跑的公里数。

依照此公式算出的  $G$  是收回投资所跑的公里数;  $R$  是每年节省的费用。

实际上,天然气汽车产生的社会、经济效益是多方面的,主要有:

(1)可降低汽车的运营成本。一辆中型汽车改装为压缩天然气、汽油两用燃料汽车费用约为一万元,由于油气差价的存在,每年可节约燃料费约1.3万元,如改装10万辆车,每年可节约13亿元。

(2)可替代大量汽油。按一辆中型车年行驶5万km计算,可替代约10.5t汽油;如发展10万辆车可替代汽油105万t。

(3)可促进天然气的充分利用。过去许多的伴生气偏远井、低产井所产天然气因不具集输价值,被白白浪费。通过发展压缩天然气,建设子母站可充分利用这些零散气。

(4)可节省维修费用。发动机使用天然气做燃料,运行平稳、噪声低、不积炭,能延长发动机使用寿命,不需经常更换机油和火花塞,可节约50%以上的维修费用。

(5)可减少油品的长途运输费用。按10万辆天然气汽车,替代105万t油品计算,可节约出700列火车次的运输,按每节油罐车租用费5000元,每列火车30节油罐计算,可节约运费1.05亿元。

此外,天然气汽车的发展还将带动相关产业,特别是机械制造业的发展,如压缩机、车用燃气装置以及储气瓶的生产,为开创新兴产业提供了机遇。

下面是重庆市拟改装的900辆公交大客车的社会、经济效益的估算结果:

#### 1)投资估算

(1)新建6座CNG加气站费用;2400万元(如在原加油站的基础上改建CNG加气站,费用更省)。

(2)改装900辆CNG大客车费用:900万元;

合计:3300万元

#### 2)效益分析预测

(1)社会及环境效益(按改装900辆计)

(2)车主单位效益

按汽油价3.4元/kg,压缩天然气1.35元/m<sup>3</sup>计。

## (3) CNG 加气站建站投资效益

按每车年行驶 6 万 km、百公里耗气量  $30\text{m}^3$ 、CNG 售价  $1.35\text{元}/\text{m}^3$ 、每站平均可供 150 辆 CNG 汽车用气计：

1 个加气站年售气量  $600 \times 30 \times 150 = 270\text{万 m}^3$

1 个加气站年售气收入  $270 \times 1.36 = 364.5\text{万元}$

1 个加气站年创利税  $364.5 \times 20\% = 72.90\text{万元}$

平均 6 年左右即可回收 CNG 加气站建设总投资。

6 座 CNG 加气站平均每年可创利税  $72.9 \times 6 = 437.40\text{万元}$

(4) 其他直接涉及的行业(企业)效益 (表 1-1 ~ 1-3)

表 1-1

| 序 号 | 项 目                         | 数 量         |
|-----|-----------------------------|-------------|
| 1   | 代替燃油量(1/年)                  | 11038       |
| 2   | 节约运输量: 火车(列/年)<br>或汽车(车次/年) | 368<br>2208 |
| 3   | 节约运输费用(万元/年)                | 45          |
| 4   | 节约燃料费用(万元/年)                | 918         |
| 5   | 减少 CO 排放量(1/年)              | 112         |
| 6   | 减少 $\text{NO}_x$ 排放量(1/年)   | 95.7        |
| 7   | 减少 CH 总量(1/年)               | 79.2        |
| 8   | 减少微粒排放量(1/年)                | 1.45        |
| 9   | 减少铅化合物(1/年)                 | 1.35        |

表 1-2

| 核 算 项 目       | 燃 用 汽 油                      | 燃 用 天 然 气                     |
|---------------|------------------------------|-------------------------------|
| 改制总量(辆)       | 900                          | 900                           |
| 平均燃料消耗定额      | $24(\text{kg}/100\text{km})$ | $30(\text{m}^3/100\text{km})$ |
| 全年总行驶里程(万 km) | 5400                         | 5400                          |
| 全年燃料消耗总量      | 1296(万 kg)                   | 1620(万 $\text{m}^3$ )         |
| 全年燃料消耗总费用(万元) | 4406.4                       | 2187                          |
| 可节约燃料费(万元)    |                              | 2219.4                        |

表 1-3

| 序号 | 行业(企业)      | 年销售收入(万元) | 年创利税(万元) |
|----|-------------|-----------|----------|
| 1  | 加气站设备生产企业   | 1200      | 240      |
| 2  | 供气装置生产企业    | 270       | 54       |
| 3  | 储气瓶生产企业     | 550       | 90       |
| 4  | 改装 CNG 汽车企业 | 900       | 180      |
| 5  | 天然气公司       | 1400      | 280      |
|    | 小计          | 4320      | 844      |

注:表中数据 1998 年统计值。





#### 4. 具有良好的安全性

汽油具有良好的挥发性,随着气温升高挥发性加强。汽车燃料系统从构造上看没有十分严密的封闭措施,尤其是在汽车加注汽油时,油箱附近空气中易形成可燃性混合气,加之汽油燃点 $430^{\circ}\text{C}$ ,遇微小火花极易着火,汽车经碰撞、翻覆或漏油后发生火灾是常见的事故。而压缩天然气(CNG)在车辆上储存、传输和加注均是在严格封闭的管道内进行,不会泄漏,即或是有泄漏现象发生,由于天然气比空气轻,在空气中遇微风而被驱散,加上天然气燃点高达 $700^{\circ}\text{C}$ 左右,不易形成可燃性混合气,所以汽车用天然气不易产生火灾事故,比用汽油安全。压缩天然气贮气瓶试验压力为工作压力的3倍左右,安装有防爆设施,用机枪子弹打或用 $800^{\circ}\text{C}$ 火焰燃烧气瓶均不会发生爆炸。贮气瓶安装在车辆上最安全的位置,因此当车辆发生碰撞或翻覆时不可能发生像汽油溢出后爆燃失火或爆炸现象。根据意大利有关资料,在汽车使用天然气的30年历史中没有发生过因压缩天然气而引起的任何伤亡事故。美国曾从1970年以来的汽车事故中抽样调查了1300起碰撞事故,没有发现一起天然气燃烧事故;一个天然气汽车示范车队行驶路程4.341亿英里,没发生一起死亡事故。荷兰在试验中曾以 $70\text{km/h}$ 的速度碰撞加压的贮气瓶,气瓶也未被破坏。天然气汽车另一个比较安全的原因是:因汽油改装燃烧天然气技术完全成熟。车上的气瓶比油箱坚固得多,天然气比空气轻,如果漏出,很快在大气中消失,汽油漏出聚集在地上容易发生事故。因此总的来讲使用压缩天然气比使用汽油作燃料的汽车更安全。

但这并不意味着,在任何情况下天然气汽车都是很安全的。事实上,天然气汽车的安全性要求有很严格的技术条件作保障。我们只有在零配件的设计、制造、车辆的改装、使用及维护过程中严格遵守有关的标准和技术要求及规范,才可能有效保证天然气汽车的安全性。否则,天然气汽车一旦发生安全事故,其后果是相当严重的。对此,决不能掉以轻心。

天然气汽车由于有上述优势,因此受到世界的广泛重视。但是天然气汽车还有其不足之处。在发展天然气汽车时,我们对此也应有充分的认识,以便根据不同的条件扬长避短。这些不足主要有以下几方面:

(1) 汽车的输出功率略有降低。改装两用燃料汽车,因要兼顾燃油、燃气两种条件,对原发动机的压缩比和燃烧室结构等均不做变动,所以在燃气时,汽车输出功率都有所下降。通常情况下,比原车烧汽油时,输出功率要降低15%左右。

(2) 整车重量加重。增加一次充气连续行驶的办法,是增加储气瓶,而储气瓶越多,整车重量增加就越多,轴荷分配也随之改变。通常改装一台天然气汽车,整车质量增加不应超过原整车质量的5%。

(3) 天然气气瓶占用了用于其他用途的空间,如行李仓、工具柜等。

(4) 一次性投资大。一般建一个中等规模的加气站,需要投资400万元以上,改一辆车约需1万元左右。因此加气网络的建设费和车辆的改装费等一次性投资所需资金量大。

## 二、我国发展天然气汽车的必要性和紧迫性

中国作为一个发展中国家,在过去的20年中经济快速发展,成就令人瞩目。汽车年产量从1988年的65万辆已增加到1997年的158万辆,2002年达到320万辆。

国内机动车销量逐渐增加,2002年汽车销量为322万辆,摩托车数量为1300.85万辆,市



场潜力巨大,前景良好。

然而,中国汽车工业虽还处在发展中,在全球汽车市场中所占比重仍很小,但其发展也遇到了多方面的问题。

首先,中国道路交通安全问题十分严重,机动车交通事故每年都造成很大损失。据统计,2001年公安交通管理部门共受理交通事故75.5万起,共死亡10.6万多人,伤54万人,造成直接经济损失30.9亿元。

其次,与世界其他国家一样,汽车造成的污染已成为中国所面临的一个严重的社会问题。尽管人均机动车数量不高,但是随着汽车保有量的迅速增长,一些大城市中道路拥挤,汽车尾气及噪声污染日益加剧。北京、重庆、上海、广州等地尤为突出,人民群众的生活受到严重影响。目前,世界各国都不断加强对汽车环保的要求,控制汽车尾气污染。我国现行的汽车排放标准的限制水平尚远低于发达国家。如欧洲现行的ECE—83103汽车排放限制,一氧化碳只相当于我国的1/8,碳氢和氮氧化物限值是我国的1/10。

面对车用燃料消耗增长的趋势和汽车排放废气的污染,人们一方面不断依靠技术进步,生产更多更好的燃料来满足需求,同时采取先进的技术措施控制污染;另一方面,不得不花费大量的精力、财力寻求无污染(或污染较小)的新的替代能源。在气体燃料中,天然气则是比较理想的清洁能源,目前国外许多国家正在加紧研究开发。我国石油资源有限,取之不多,而天然气藏量丰富,正处于上升发展阶段,因此探讨、研究和发展天然气汽车,对我国的节能和环保都具有重要的意义。

天然气汽车是目前世界上公认的节能、低污染、经济、安全的新型代用燃料汽车。天然气汽车已在俄罗斯、意大利、荷兰、阿根廷、美国、澳大利亚、加拿大、新西兰、日本、韩国等国家得到广泛的推广使用。我国20世纪50年代开始使用天然气汽车,80年代中期,石油天然气总公司引进有关技术和设备,在四川进行了压缩天然气汽车的试运行。此后,华北、吉林、大庆、新疆等油田,重庆、成都、北京、上海、哈尔滨、西安、深圳、沈阳等城市也相继开展有关工作。到2003年初,全国已有压缩天然气汽车69300辆,建成加气站270座。从国内外的发展实践看,使用压缩天然气汽车可以明显改善环境质量、平衡利用能源资源,而且具有较好的经济效益。目前,压缩天然气汽车技术已经成熟,在国外,对加气站设备、汽车改装部件、高压气瓶等都已制定了严格的标准和质量保证措施。在我国,已能生产和国外相当的压缩天然气汽车产品和加气站设备。压缩天然气汽车一次充气续驶里程已能满足市内交通需要,行车速度和驾驶性能基本不变,冷启动性能好,运行平稳,只要严格执行许可证定点生产制度,严格检测和管理,天然气汽车运行的安全性可比燃油汽车更高,天然气加气站的安全也能保证。李鹏、邹家华等国家领导同志近年来多次指示要大力发展我国天然气汽车。李鹏同志在1996年12月参观北京国际代用燃料汽车展时指出:“压缩天然气汽车很有前途。我国有煤和天然气,发展天然气汽车更现实,今后要加大开发代用燃料汽车的力度。”1997年5月,李鹏同志又在《中国的能源政策》一文中再次强调:“天然气是一种高效、清洁的燃料和优良化工原料”、“用天然气代替汽油、柴油做汽车的燃料,技术上比较成熟。只要在产气地区建立起分布在城市和公路两旁的换气站系统,以气代油逐步可以推广应用。”这些重要指示,对于我国预防未来世界性石油危机可能给国家经济带来的不利影响,治理日益恶化的城市环境有重大意义,为我国汽车产业和油气产业的发展指明了方向。







### 三、天然气汽车的应用技术

#### 1. 天然气在汽车上的应用形式和特点

天然气在汽车上按照燃料混合、点火和燃烧方式可分为下列几种形式。

(1)按点火方式可分为电火花点火和柴油引燃式。由于天然气的着火温度较高,发动机压缩过程缸内气体温度达不到其自燃点,因此必须靠电火花点火;或则喷入少量柴油,首先被压燃再引燃天然气或液化石油气。

(2)按供气方式可分为缸外(进气管)预混合供气和缸内直接喷气。缸外预混合供气常采用将气体燃料联通到发动机进气管上的空气—燃料混合器上,通过混合器将比例合适的混合气供给气缸。另一种缸外预混合供气方式为进气阀处多点喷气式,或进气总管单点喷气式;缸内直接喷气是将气体燃料用装置于发动机缸盖上的喷嘴以一定的压力将其直接喷入到气缸中,一般喷气过程在发动机进气门关闭到点火之前完成,还有在压缩过程终了喷气,边燃烧边喷气。

(3)按燃烧方式可分为预混合燃烧和扩散燃烧。预混合燃烧是指在发动机点火系统点火或引燃柴油自燃前,进入气缸内的气体燃料与空气预先混合均匀,此时缸内各处的混合比是一致的;而扩散燃烧是指气体燃料以一定提前量在点火或引燃前喷入缸内,因而在着火时,缸内燃料与空气并未混合均匀,燃料边扩散,边燃烧。

(4)还可按控制方式分为机械控制式和电子控制式(开环、闭环),按增压与否分为增压与非增压形式。

表 1-4 是天然气各种应用形式的特点。

天然气的应用技术

表 1-4

| 燃料种类        | 应用 技术                    |                | 特 点       |                                          |         |
|-------------|--------------------------|----------------|-----------|------------------------------------------|---------|
|             | 基本发动机                    | 方 式            | 混合气特点     | 燃料供应                                     | 点火、燃烧方式 |
| 气态天然气 (CNG) | 1. 汽油机循环<br>2. 柴油<br>机循环 | 双燃料式           | 预混合气      | 高压容器、减压阀、混合器等组成的多歧管供应                    | 火花点火    |
|             |                          | 专用式            | 预混合气      | 高压容器、减压阀、混合器等组成的多歧管供应                    | 火花点火    |
|             |                          | 预混合火花点燃式       | 预混合气      | 汽油直接喷雾方法 同一                              | 火花点火    |
|             |                          | 气体直喷火花点火式      | 气状喷雾      | 高压容器、减压阀、气体喷射阀等组成的气缸内直喷                  | 火花点火    |
|             |                          | 气体喷汽油压缩点火式     | 气状喷雾加汽油喷雾 | 同上加汽油直喷                                  | 压缩点火    |
| 液态天然气 (LNG) | (1)汽油机循环<br>(2)柴油<br>机循环 | 专用式            | 预混合       | LNG 罐、热交换器、吸附与脱附装置、低压喷射阀等组成的多歧管喷射        |         |
|             |                          | 预混合火花点燃式       | 预混合       | LNG 罐、热交换器、吸附与脱附装置、低压喷射阀等组成的多歧管喷射        |         |
|             |                          | LNG 直接喷射、火花点火式 | LNG 喷雾    | LNG 罐、LNG 泵、热交换器、吸附与脱附装置、高压喷射阀等组成的气缸直接喷射 |         |

## 2. 天然气汽车的技术内容

天然气汽车与汽、柴油汽车相比具有更多、更新的技术内容,这其中包括下列几个主要方面:

(1)加气站技术 气体燃料在汽车上的充加需要比液体燃料复杂得多的加气设备,例如压缩天然气(CNG)加气站,它不仅要把天然气压缩到 20MPa 以上,而且还要把供气速度、容量配置、充放气顺序、起停控制、计量与环境补偿、安全设施等方面做出完善的设计。此外,还需要脱硫脱水装置。而液化天然气(LNG)加气站则更是技术含量极高的设施。

(2)发动机技术 气体燃料的性质决定了它不同于汽油、柴油,因而气体燃料发动机也不同于汽油机、柴油机,它应该有其独特之处,因此在气体燃料的混合、燃烧方式、发动机燃烧室结构、点火系统等诸多方面都需要研究与开发。

(3)气瓶技术 由于汽车是移动运行的,因此气体燃料气瓶的质量是一个重要的技术问题。此外,气瓶在各种苛刻条件下的安全性问题更是气体燃料汽车技术研究中不可忽视的问题。

(4)混合与控制技术 汽车的速度和负荷总是变化的,而且气体燃料相对于液体燃料又较难控制,因此按汽车运行工况要求提供合适量、质的混合气给发动机是混合与控制系统的根本任务。

## 第二节 天然气的特性

作为内燃机的燃料,主要是利用它所发出的热能在内燃机中转换成为有用功。液体燃料是在炼油厂中按照一定物理、化学原理将原油炼成汽油、柴油和航空汽油等燃料,其物理、化学性质比较稳定。天然气由于来自不同的油田和气田,或来自炼油厂等地,其间的差别很大,无论其成分和性质都有较大的区别。

### 一、天然气的理化性质

天然气是多种烃的混合物,主要成分是甲烷,此外,含有少量的乙烷、丙烷、丁烷和其它杂质。一般油、气田的天然气中的甲烷含量差别相当大。我国四川气田天然气中的甲烷含量多在 95% 以上,而油田的伴生天然气中的甲烷含量在 70% ~ 80%。有的甲烷含量更低,并且还含有较重的烃类如丁烷、戊烷、和己烷。

表 1-5 和表 1-6 是我国不同产地和油、气田的天然气成分组成,表 1-7 是美国某地产天然气的组成,表 1-8 则反映不同气体燃料的组成和性质。

综上,天然气的理化性质有以下特点:

(1)天然气是以甲烷为主要成分,且含碳量较少的碳氢燃料。甲烷成分因产地不同而异,一般在 83% ~ 99% 之间。

(2)常温下为气体(甲烷沸点:  $-162^{\circ}\text{C}$ ),与常温下为液体的汽油、轻油等石油类燃料不同,在汽车上使用时,运输性差。

(3)在同一进气状态下,当气体燃料的容积流量增加时,发动机的空气吸入量减少,输出功率下降。





(4)化学性质稳定,氧化安全性好。

各种天然气的成分

表 1-5

| 名 称       | CH <sub>4</sub> | C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> | C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> | C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> | C <sub>m</sub> H <sub>n</sub> | H <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> S | CO <sub>2</sub> | N <sub>2</sub> |
|-----------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|----------------|------------------|-----------------|----------------|
| 气田天然气(四川) | 97.20           | 0.70                          | 0.20                          | —                              | —                             | 0.10           | 0.10             | 1.0             | 0.70           |
| 油田天然气(四川) | 88.59           | 6.06                          | 2.02                          | 1.54                           | 0.06                          | 0.07           | —                | 0.2             | 1.46           |
| 大庆天然气     | 91.05           | 1.64                          | 2.70                          | 2.23                           | 1.09                          | —              | —                | —               | —              |

自贡地区天然气化学成分、体积含量及热值

表 1-6

| 成 分     | CH <sub>4</sub> | C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> | C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> | iC <sub>4</sub> H <sub>10</sub> | nC <sub>4</sub> H <sub>10</sub> | iC <sub>5</sub> H <sub>12</sub> | nC <sub>5</sub> H <sub>12</sub> | CO    | H <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> S | CO <sub>2</sub> | N <sub>2</sub> |
|---------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------|----------------|------------------|-----------------|----------------|
| 含量(%)   | 97.27           | 0.66                          | 0.171                         | 0.016                           | 0.028                           | 0.0069                          | 0.0076                          | 0.004 | 0.0061         | 0.013            | 1.176           | 0.575          |
| 低热值(kJ) | 33818           | 60180                         | 86158                         | 111982                          | 111635                          | 137915                          | 137572                          | 12018 | 10193          | 21873            | —               | —              |

天然气成分

表 1-7

| 成 分  | 甲烷                 | 乙烷                               | 丙烷                               | 异丁烷                                 | 正丁烷                                 | 戊烷                                | 氮                 | 二氧化碳               |
|------|--------------------|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|-------------------|--------------------|
|      | (CH <sub>4</sub> ) | (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> ) | (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> ) | (异 C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> ) | (正 C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> ) | (C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> ) | (N <sub>2</sub> ) | (CO <sub>2</sub> ) |
| 相对容积 | 0.917              | 0.030                            | 0.007                            | 0.001                               | 0.001                               | 0.002                             | 0.038             | 0.004              |

气体燃料特性分析计算结果

表 1-8

| 参数项                   |        | 体 积 成 分 (%) |                |                 |                               |                               |                                |                               |                |                 | 密度<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | 低热值<br>(MJ/kg) | 燃料<br>与空<br>气的<br>质量<br>比 | 空气<br>与混<br>合气<br>体积<br>比 | 功<br>率<br>下<br>降<br>率<br>(%) |                |
|-----------------------|--------|-------------|----------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|----------------|-----------------|----------------------------|----------------|---------------------------|---------------------------|------------------------------|----------------|
|                       |        | CO          | H <sub>2</sub> | CH <sub>4</sub> | C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> | C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> | C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> | C <sub>n</sub> H <sub>m</sub> | O <sub>2</sub> | CO <sub>2</sub> |                            |                |                           |                           |                              | N <sub>2</sub> |
| 燃料名称                  |        |             |                |                 |                               |                               |                                |                               |                |                 |                            |                |                           |                           |                              |                |
| 天然气                   |        | —           | —              | 93.2            | 5.0                           | 0.7                           | 0.2                            | —                             | —              | 0.2             | 0.7                        | 0.77           | 49.00                     | 0.060                     | 0.90                         | 15             |
| 污水煤气<br>(沼气)          |        | —           | 3.0            | 60.0            | —                             | —                             | —                              | —                             | —              | 32.0            | 5.0                        | 1.12           | 19.50                     | 0.149                     | 0.85                         | 21             |
| 城市煤气                  |        | 2.6         | 53.4           | 26.2            | —                             | —                             | —                              | —                             | —              | 17.8            | —                          | 0.62           | 25.00                     | 0.125                     | 0.79                         | 21             |
| 高炉煤气                  |        | 24.0        | 6.3            | —               | —                             | —                             | —                              | —                             | —              | 7.8             | 61.9                       | 1.25           | 2.97                      | 1.340                     | 0.42                         | 47             |
| 发<br>生<br>炉<br>煤<br>气 | 木<br>材 | 22.0        | 18.2           | 1.6             | —                             | —                             | —                              | 0.4                           | —              | 10.5            | 47.3                       | 1.11           | 5.05                      | 0.710                     | 0.54                         | 38             |
|                       | 褐<br>煤 | 26.0        | 10.0           | 2.0             | —                             | —                             | —                              | 0.4                           | —              | 6.5             | 55.1                       | 1.17           | 4.60                      | 0.790                     | 0.53                         | 39             |
|                       | 硬<br>煤 | 19.8        | 18.7           | 1.3             | —                             | —                             | —                              | —                             | 1.2            | 9.6             | 49.4                       | 1.10           | 4.56                      | 0.880                     | 0.49                         | 37             |
| 液化石油气                 |        | —           | —              | —               | —                             | 50.0                          | 50.0                           | —                             | —              | —               | —                          | 2.28           | 45.90                     | 0.065                     | 0.96                         | 8              |
| 甲烷                    |        | —           | —              | 100.0           | —                             | —                             | —                              | —                             | —              | —               | —                          | 0.72           | 49.70                     | 0.058                     | 0.90                         | 17             |
| 乙烷                    |        | —           | —              | —               | —                             | 100.0                         | —                              | —                             | —              | —               | —                          | 1.97           | 46.30                     | 0.064                     | 0.96                         | 9              |
| 丁烷                    |        | —           | —              | —               | —                             | —                             | 100.0                          | —                             | —              | —               | —                          | 2.60           | 45.50                     | 0.065                     | 0.96                         | 9              |
| 石油伴生气                 |        | —           | —              | 83.2            | —                             | 3.3                           | 2.1                            | 6.8                           | —              | 0.8             | 3.8                        | 0.89           | 45.50                     | 0.053                     | 0.92                         | 29             |