

# 清洁燃料

# 基础及应用

熊 云 徐小明 刘信阳 编著



中國石化出版社

# 清洁燃料基础及应用

熊 云 徐小明 刘信阳 编著

中国石化出版社

## 内 容 提 要

随着我国汽车工业的迅速发展,汽车尾气污染已日益成为城市大气环境的主要污染源。减少汽车尾气污染物排放量已成为保护环境的迫切需要。使用清洁燃料是减少汽车排放污染的有效途径,也是实现可持续发展战略的重要途径。

本书主要介绍了各类清洁燃料的发展现状、资源情况、生产工艺、理化性质、产品标准,在汽车上使用的优缺点,使用清洁燃料汽车的分类、改装、使用安定性、使用中的注意事项、常见问题以及清洁燃料的正确选用等方面的内容。全书共分九章,分别介绍了天然气、液化石油气、醇类燃料、二甲醚、氢气、生物质能、燃料电池、清洁汽油、清洁柴油的生产及在汽车上的应用等。

本书主要供从事清洁燃料生产及应用的技术人员、大专院校师生参考,也可作为科普读物。

### 图书在版编目(CIP)数据

清洁燃料基础及应用/熊云等编著.  
—北京:中国石化出版社,2005  
ISBN 7-80164-819-6

I.清… II.熊… III.无污染燃料—基本知识  
IV.X505

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 047228 号

### 中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com.cn

北京精美实华图文制作中心排版

河北天普润印刷厂印刷

新华书店北京发行所经销

\*

787×1092 毫米 32 开本 7.375 印张 160 千字

2005 年 5 月第 1 版 2005 年 5 月第 1 次印刷

定价:18.00 元

# 前 言

近年来，我国汽车工业发展迅速，汽车保有量逐年增加，从1994年的940万辆增加到2003年的2400万辆，年增长率为10%，其中私人汽车保有量从1994年的205万辆(占民用汽车保有总量的21%)增加到2003年的1200万辆(占民用汽车保有总量的50%)。2004年我国汽车产销量双双首次突破500万辆，汽车产量达507万辆，比2003年增长14.11%，轿车产量为231万辆，比2003年增长11.99%。目前汽车的燃料几乎100%为石油，发动机燃料的供应将更加紧张。

随着汽车保有量的增长和世界石油资源的日益减少，各国都在千方百计降低汽车的燃料消耗率和致力于代用燃料和新能源的开发研究工作，以减轻对石油资源的过分依赖。我国石油开发和生产严重滞后于消费增长，供需矛盾日益突出，进口量大幅度上升。2004年我国生产原油1.75亿吨，较2003年增长2.9%；2004年我国进口原油12272万吨，较2003年增长34.8%，全年原油进口首次突破1亿吨大关；2004年我国进口成品油3788万吨，较2003年增长34.1%。随着工业化进程的加快和汽车保有量的增加，我国未来石油需求将呈强劲增长态势，供需缺口较大。如不采取积极有效的措施，到2020年，我国对国际石油市场的依存度将达到62%左右。因此，节约和使用替代燃料是解决我国石油资源短缺，缓解石油供需矛盾，保障国家经济安全和长远发展的重大战略

措施。

另一方面，车用汽油、柴油造成的环境污染，也是促使人们使用清洁汽油、清洁柴油和其他清洁能源的重要原因。当前，汽车尾气中污染物(碳氢化合物、一氧化碳、二氧化碳、氮氧化物、颗粒物等)已成为当前我国城市空气污染的主要污染源之一，根据国家环保中心预测，到2010年我国汽车尾气排放量将占空气污染源64%。因此减少汽车尾气污染物排放量已成为保护环境的迫切需要，使用清洁燃料是减少汽车排放污染的有效途径。

2005年2月16日《京都议定书》已正式生效，《京都议定书》是在《联合国气候变化框架公约(UNFCCC)》下制定的，UNFCCC自缔约之日起(1992年)，已有包括我国在内的全球141个国家和地区参与。在1997年12月在日本京都召开的《公约》第三次缔约方大会上，终于形成了关于限制二氧化碳排放量的成文法案。当该大会结束时，此公约已经初具雏形，并以当届大会举办地京都命名，始称《京都议定书》。它是第一个具有法律约束力的旨在防止全球变暖而要求减少温室气体排放的条约，根据《京都议定书》，“附件I国家”(发达国家和经济转型国家)在2008~2012年间总体上要比1990年水平平均减少5.2%。从总量上看，目前我国二氧化碳排放量已位居世界第二，甲烷、氧化亚氮等温室气体的排放量也居世界前列。1990~2001年，我国二氧化碳排放量净增8.23亿吨，占世界同期增加量的27%；预计到2020年，排放量要在2000年的基础上增加1.32倍，这个增量要比全世界在1990年到2001年的总排放增量还要大。预测表明，到

2025年前后，我国的二氧化碳排放总量很可能超过美国，居世界第一位。

使用低二氧化碳排放量的清洁能源是减少我国二氧化碳排放总量的最佳选择，也是维护我国的国际形象和地位需要。因此，发展清洁燃料刻不容缓。根据汽车的特点，使用的清洁燃料应具备如下条件：①储量或原料丰富，能满足汽车的大量需求。②能量密度高，保证汽车有足够的续驶里程。③污染环境少。④价格低廉，比使用汽油或柴油更经济。⑤使用安全，运输、储存方便。

目前，汽车使用最多的清洁燃料有清洁汽油、清洁柴油，近年来发展迅速的有天然气、液化石油气和醇类燃料，使用这三类清洁燃料对汽车的改动不大，且有一定的使用经验，技术比较成熟。正在研究的清洁燃料有二甲醚、氢气、生物质能和燃料电池。下表为各类替代石油产品的清洁燃料优、缺点比较。

本书由熊云、徐小明、刘信阳编著。由于水平所限，书中不要之处敬请批评指正。

部分汽车清洁燃料的比较

燃 料	优 点	缺 点	现状与前景
天然气	① 资源丰富，在今后相当长的时间内有保障 ② 污染很小 ③ 辛烷值高 ④ 价格低廉 ⑤ 技术成熟	① 非再生能源 ② 储运不便 ③ 加气站投资大 ④ 气态的能量密度小 ⑤ 汽车动力性下降 ⑥ 单烧时须设计专门的发动机	在一些国家的城市公共汽车及出租汽车上使用并大力推广，已有约330万辆天然气汽车，是解决汽车大气污染的主要清洁燃料

续表

燃 料	优 点	缺 点	现状与前景
液化 石油气	① 污染小 ② 储运比较方便 ③ 技术成熟 ③ 辛烷值较高	① 非再生能源,资源 比天然气少 ② 汽车动力有所下降 ③ 单烧时最好设计专 门的发动机	目前世界上该 种汽车的数量约 520 万辆,是汽车 重要的清洁燃料
醇类 (甲醇、 乙醇)	① 可以利用煤 炭、植物等制取,来 源有长期保证 ② 辛烷值较高, 与汽油的理化性质 较接近 ③ 储运方便 ④ 技术较成熟	① 甲醇的毒性较大 ② 对橡胶件有溶胀 危害 ③ 对某些金属有腐蚀 ④ 成本较高	目前世界上有一 定数量的汽车采用 醇类与汽油掺烧的 方法。在贫油及植 物丰富的国家和地 区能作为汽油的补 充,有较大的使用 范围
二甲醚	① 二甲醚来源较 为丰富 ② 污染小 ③ 十六烷值高	① 润滑性差 ② 成本较高 ③ 投资较大	正在研究开发 采用一步法生产 二甲醚成本大幅度 下降后,可望有较 好的发展前景
氢气	① 氢气来源非常 丰富 ② 污染很小 ③ 氢的辛烷值 高,热值高	① 氢气生产成本高 ② 气态氢能量密度小 且储运不便,液态氢技术 难度大,成本高 ③ 需要开发专用发 动机	仍处于基础研 究阶段,制氢及携 带技术有待突破 有望成为未来 汽车的重要组成 部分
生物质能 (生物柴油)	① 来源丰富,可 再生 ② 污染小 ③ 减少温室效应 ④ 生物降解率高 ⑤ 储运方便	① 汽车动力性下降 ② 生产成本较高 ③ 腐蚀橡胶和塑料	作为能源的一 种补充,应用于某 些国家或地区
燃料电池	① 燃料来源丰富 ② 排放达到零污 染 ③ 结构简单,维 修方便 ④ 能量转换效率 高,节能效果显著 ⑤ 噪声很小	① 成本高 ② 汽车续驶里程短 ③ 动力性较差 ④ 需要配备辅助电池 系统 ⑤ 投资大	从总体看仍处 于试验研究阶段, 要完全解决技术 上的难题并降低 成本,还需要一定 的时间,是公认的 未来汽车的主要 清洁动力源

# 目 录

第一章 天然气	( 1 )
一、天然气汽车的发展现状	( 1 )
二、天然气的资源情况	( 3 )
三、天然气的生产(净化)	( 4 )
四、天然气的性质	( 5 )
五、汽车使用天然气的优缺点	( 6 )
六、天然气汽车的分类	( 8 )
七、天然气汽车的改装	( 15 )
八、天然气汽车的使用安全	( 20 )
九、天然气的正确使用	( 25 )
十、使用压缩天然气的注意事项	( 27 )
十一、使用车用压缩天然气的常见问题	( 28 )
第二章 液化石油气	( 32 )
一、液化石油气汽车的发展现状	( 32 )
二、液化石油气的资源及生产	( 33 )
三、液化石油气的理化性能	( 34 )
四、液化石油气的使用性能	( 34 )
五、汽车使用液化石油气的优缺点	( 45 )
六、液化石油气汽车的分类	( 48 )
七、液化石油气汽车的改装	( 50 )
八、车用液化石油气的牌号及使用	( 55 )
第三章 醇类燃料	( 58 )
一、醇类燃料的发展及现状	( 58 )
二、醇类燃料的资源情况	( 64 )



三、醇类燃料的生产 .....	( 67 )
四、醇类燃料的性质 .....	( 75 )
五、醇类燃料的使用性能 .....	( 76 )
六、汽车使用醇类燃料的优缺点 .....	( 80 )
七、醇类燃料的使用方式 .....	( 84 )
八、醇类燃料的正确使用 .....	( 86 )
九、使用醇类燃料的注意事项 .....	( 92 )
十、使用醇类燃料的常见问题 .....	( 94 )
<b>第四章 二甲醚</b> .....	( 100 )
一、二甲醚汽车的发展现状 .....	( 100 )
二、二甲醚的资源 .....	( 101 )
三、二甲醚的生产 .....	( 103 )
四、二甲醚的理化性质 .....	( 108 )
五、汽车使用二甲醚的优缺点 .....	( 109 )
六、二甲醚在汽车上的使用 .....	( 111 )
七、我国二甲醚发展面临的问题 .....	( 115 )
<b>第五章 氢气</b> .....	( 117 )
一、氢气燃料汽车的发展现状 .....	( 117 )
二、氢气的资源 .....	( 119 )
三、氢气的制取 .....	( 120 )
四、氢气的理化性质 .....	( 123 )
五、氢燃料汽车的使用性能 .....	( 124 )
六、汽车使用氢气燃料的优缺点 .....	( 125 )
七、氢气的携带方式 .....	( 127 )
八、氢气汽车的类型 .....	( 132 )
<b>第六章 生物质液体燃料</b> .....	( 138 )
一、生物柴油的发展及现状 .....	( 139 )

二、生物柴油的资源 .....	(141)
三、生物柴油的生产 .....	(144)
四、生物柴油的性质 .....	(150)
五、生物柴油的使用性能 .....	(150)
六、汽车生物柴油的优缺点 .....	(153)
七、生物柴油的使用 .....	(155)
<b>第七章 燃料电池</b> .....	<b>(158)</b>
一、燃料电池汽车的发展及现状 .....	(158)
二、燃料电池的工作原理 .....	(163)
三、燃料电池的分类 .....	(165)
四、汽车使用燃料电池的优缺点 .....	(171)
五、燃料电池汽车分类 .....	(175)
六、燃料电池汽车的改装 .....	(182)
<b>第八章 清洁汽油</b> .....	<b>(185)</b>
一、汽车中的有害物 .....	(186)
二、清洁汽油的发展 .....	(188)
三、清洁汽油的生产 .....	(190)
四、汽车使用清洁汽油的优点 .....	(198)
五、清洁汽油标准 .....	(199)
六、清洁汽油的使用 .....	(204)
<b>第九章 清洁柴油</b> .....	<b>(206)</b>
一、汽车中的有害物 .....	(207)
二、清洁柴油的发展 .....	(208)
三、清洁柴油的生产 .....	(210)
四、汽车使用清洁柴油的优点 .....	(215)
五、清洁柴油标准 .....	(216)
六、清洁柴油的使用 .....	(219)
<b>参考文献</b> .....	<b>(225)</b>

# 第一章 天然气

天然气的主要成分是甲烷，因而氢含量大，硫、氮等杂质少，不含芳香烃，加上天然气是气态燃料，容易与空气混合，燃料燃烧完全，与其他化石燃料相比，车辆使用天然气燃烧时仅排放极微量的一氧化碳、碳氢化合物、氮氧化物，尾气排放污染物较低。因此，目前天然气是世界公认的“清洁燃料”，受到越来越多国家的重视，发展前景十分好。根据石油输出国组织提供的数据，在目前的世界能源消费构成中，天然气占大约 21%。到 2025 年，这一比例将上升到近 30%。

## 一、天然气汽车的发展现状

发达国家把天然气作为汽车燃料使用较早，目前世界上已有 40 多个国家在使用天然气作为汽车燃料，截止 2003 年底，世界上的天然气汽车数量为 330 万辆，而使用较多的是压缩天然气(Compressed Natural Gas，简称 CNG)汽车，全世界有 CNG 加气站 6621 个。我国用天然气作汽车燃料已有 40 多年的历史，初期是将天然气装入储气包内使用，后来发展为将天然气压缩后装入钢瓶中使用的压缩天然气汽车(CNGV)，近年来又发展了将天然气液化(Liquefied Natural Gas，简称 LNG)后装入钢瓶使用的液化天然气汽车(LNGV)，目前正在研究之中的是吸附天然气(Absorbed Natural Gas，简称 ANG)汽车。

我国在解放初期，由于汽油短缺，就将天然气装入储气包作汽车燃料使用，减少汽车对汽油的依赖，后来随着石油工业的发展，天然气逐步退出运输行业，但天然气资源丰富的四川、重庆的一些公共汽车一直在使用天然气。上世纪90年代末，随着人们环境保护意识的加强，加上机动车排放的尾气已成为我国大中城市的主要污染源之一，为减少车辆尾气排放对大气的污染，天然气再次受到重视。为克服低压储气包的不足，发展为将天然气压缩后装入钢瓶中使用(CNGV)。

1998年，我国由国家科技部牵头启动了“空气净化工程——清洁汽车行动”，北京、上海、重庆、西安等12个城市被国家科技部列为首批试点和示范城市，天然气汽车被列为首选。国家“九五”科技攻关项目组织以汽车行业骨干企业为核心，产、学、研相结合的燃气汽车整车开发与产业化工作，确定一汽集团、东风公司、上汽集团、北汽集团、长安公司为燃气汽车生产基地。

2003年，国家科技部将清洁汽车重点推广应用城市(地区)扩大到16个，截止到2004年6月，全国16个清洁汽车重点推广城市共发展天然气汽车19.64万辆，其中四川、重庆CNG汽车的使用走在全国的前列，两地CNG汽车的保有量均超过万辆，四川省更达到了47100辆。2004年重庆车用天然气的销售量为2亿 $m^3$ ，天然气汽车保有量15000辆，有25家天然气汽车改装厂、7家维修厂，CNG加气站达到56座，重庆燃气集团2005年将建设一座CNG中心加气站，并配备12辆移动CNG加气车，每天的加气能力达到10万 $m^3$ 左右，解决主城区CNG汽车加气难的问题，天然气汽车产业已初步形成。据介绍：今后5~10年内，天然气汽车的比

例将达到汽车保有量的 3% 左右。

我国目前已掌握了燃气汽车整车开发、发动机整机开发、供气装置及控制系统、增压中冷技术、气瓶、燃气汽车试验技术以及试验设备和检测仪器等部分的关键技术，完成了重型、中型、轻型和微型等多种 CNG - 汽油、CNG - 柴油两用燃料汽车的大量试验研究和产品开发工作。“国家燃气汽车工程技术研究中心”已在重庆市正式设立，“十五”期间，将建设重庆国家天然气汽车产业基地。到 2010 年，重庆市将有 9 万辆 CNG 汽车，建成 450 座 CNG 加气站。

西气东输工程的启动将大大加快天然气汽车的推广和产业化进程。首先，西气东输将为燃气汽车的发展提供稳定的能源供给。其次，西气东输工程必然带动天然气管道沿线的加气站建设，使制约燃气汽车发展的瓶颈得到有效缓解。随着国家西气东输工程的启动，以 CNG 作为车用替代能源的燃气汽车产业，将迎来一次极好的发展机遇。

## 二、天然气的资源情况

天然气主要来源于气田和油田，它是地表下岩石储集层中自然存在的以轻质碳氢化合物为主体的气体混合物统称，主要成分是甲烷，分子式为  $\text{CH}_4$ ，其余为乙烷、丙烷、丁烷及少量其他物质。地球上天然气资源丰富，截至到 2003 年底，全世界可开采天然气储量为 155 万亿  $\text{m}^3$ ，天然气产量为 2.53 万亿  $\text{m}^3$ ，是世界上产量增长最快的能源。

我国天然气总资源约为 55 万亿  $\text{m}^3$ ，预测天然气可采资源量为 12 万亿  $\text{m}^3$ ，2003 年累计探明天然气可采储量 2.77 万亿  $\text{m}^3$ ，天然气剩余可采储量 2.21 万亿  $\text{m}^3$ ，比 2002 年增加约 0.35 万亿  $\text{m}^3$ ，增长幅度约为 18.8%，具有加快发展的潜力，居世界第 15 位，到 2020 年，我国天然气的储量仍将保

持青年期的特点。2004 年我国生产天然气 408 亿  $\text{m}^3$ ，比 2003 年增加约 58 亿  $\text{m}^3$ ，增长幅度约为 18.5%。天然气又分为气田气和伴生气，在我国气田气主要产自四川、陕北、新疆的三大盆地，伴生气主要产自大庆、华北、大港、胜利、中原等油田。在天然气的总产量中，气田气占主导地位。

### 三、天然气的生产(净化)

天然气的生产过程其实就是天然气的开采过程，天然气的开采是个专业领域，有很多的相关专业书籍可供读者查阅，在这里仅介绍与车用天然气使用有关的车用天然气的净化。

由于天然气从高压气瓶到发动机的过程中要经过几次减压，减压过程中会出现局部低温，因此作为汽车燃料的天然气与管道天然气相比，需要满足更严格的气质标准，以避免天然气在减压降温过程中造成水和烃类的凝结聚集，管道堵塞而影响正常工作。同时还要求车用天然气对相关的金属材料无腐蚀以及天然气发动机的正常燃烧，因而需对进入加气站的天然气在压缩前和压缩后进行净化和干燥处理，这一过程可以概括为“三脱”：即脱水、脱烃、脱硫。

脱水：即脱除天然气中的水分，防止 CNG 在减压膨胀降温过程中使供气系统造成冰堵。

脱烃：即脱去天然气中的轻烃，限制乙烷及重烃含量，防止发动机点火燃烧不正常。

脱硫：即脱除天然气中的硫化氢等腐蚀性物质，防止对设备管线、气瓶和车辆供气系统的腐蚀。

天然气经过净化和干燥后方可对加气站的气瓶充气储存或给 CNG 汽车气瓶充气。因此车用天然气是除去绝大部分硫化物、水及重烃的以甲烷为主的天然气。

#### 四、天然气的性质

天然气无色、无味、无毒且无腐蚀性，天然气的组成依产地不同而有所差异，但其主要成分是甲烷(85%~95%)和少量的乙烷、丙烷等，还有少量的氮气、氧气、二氧化碳和硫化物。我国天然气各产地中，四川的气田产天然气甲烷含量最高。天然气的组成成分决定了其理化性能，甲烷的理化性能与汽油比较见表1-1。

表1-1 天然气与汽油理化性能比较

项 目		天然气(甲烷)	90#汽油	0#柴油
H/C原子比		4	2~2.3	2~2.3
密度(液相)/(kg/m <sup>3</sup> )		424	700~760	780~860
沸点/℃		-161.5	35~205	200~330
凝点/℃		-182.5	< -100	0
临界温度/℃		-82.6		
临界压力/MPa		4.62		
蒸发潜热/(kJ/kg)		510	349	270
比热容(液体, 沸点)/(kJ/kg·K)		3.87		
比热容(气体, 25℃)/(kJ/kg·K)		2.23		
气/液容积比(15℃)		624	150	150
密度(气相)/(kg/m <sup>3</sup> )		0.715		
理论空燃比	质量比	17.25	14.8	14.3
	体积比	9.52	8586	9417
低热值/(MJ/kg)		50.05	43.90	42.50
混合气热值/(MJ/m <sup>3</sup> )		3.39	3.73	3.79
辛烷值/RON		> 140	90	
着火极限/%		5~15	1.3~7.6	1.5~8.2
着火温度(常压下)/℃		537	390~420	350
火焰传播速度/(cm/s)		33.8	39~47	
火焰温度/℃		1918	2197	

## 五、汽车使用天然气的优缺点

### 1. 汽车使用天然气的优点

#### (1) 抗爆性能好

天然气的主要成分是甲烷，甲烷的 MON (马达法辛烷值) 为 140，大多数天然气的 MON 为 115 ~ 130，具有很强的抗爆性。研究表明，燃用天然气的发动机应采用的合理压缩比为 12，允许的压缩比为 15，通过提高压缩比可大幅度提高发动机的热效率，弥补由于热值低带来的发动机功率下降，从而使天然气汽车获得更好的动力性和燃料的经济性。

#### (2) 燃烧完全

天然气本身是气态，与空气混合均匀，燃烧完全，不结炭，可提高热效率 10% 以上。

#### (3) 对环境污染小

汽车使用天然气作燃料与使用汽油作燃料相比，一氧化碳减少 97%，碳氢化物减少 72%，氮氧化物减少 39%，二氧化碳减少 24%，二氧化硫减少 90%，苯、铅等粉尘减少 100%，噪音降低 40%。

#### (4) 资源丰富

我国天然气地质资源量估计超过 55 万亿  $m^3$ ，预测天然气可采资源量为 12 万亿  $m^3$ ，可采储量前景看好，可采 100 年以上，在世界上属资源比较丰富的国家。使用天然气可减轻对石油资源的依赖，有利于我国经济的健康发展。

#### (5) 经济性好

用天然气作发动机燃料，其燃料费用是汽油车的 2/3 (天然气尽管其热值较汽油略低，但其价格便宜)，加上天然气的着火极限较汽油宽，它可在  $\alpha = 0.58 \sim 1.8$  的范围内着火燃烧，这样有利于燃烧稀混合气，提高使用天然气汽车的



燃料经济性。由于燃料燃烧完全，无结炭、无爆震，汽车使用寿命大大延长，维修费用仅为汽油车的 70%。

#### (6) 安全性好

天然气相对密度较空气小为 0.58，一旦发生泄漏，会很快在空气中消失。但汽油不易扩散，一遇火星，易于着火燃烧。

### 2. 汽车使用天然气的缺点

#### (1) 功率下降

天然气与空气的混合气热值较汽油低且充气量系数小，使用天然气时，如不改变发动机的结构参数，发动机的功率要下降 10% ~ 18%。

#### (2) 点火所需能量大

天然气比汽油着火温度高(天然气的着火温度为 537℃，而汽油的着火温度在 430℃ 以下)，因此需要较高的点火能量。

#### (3) 行驶距离短

由于天然气的能量密度低，压缩天然气汽车携带的燃料量较少，一般行驶距离较汽油车短。在城市行驶的出租车，白天需加气 2 ~ 3 次。

#### (4) 较大缸体容器增加重量并减少行李箱空间

气态天然气的能量密度比汽油小得多。1m<sup>3</sup> 常压天然气装入 20MPa 的储气瓶中，约占 5L 容积，而与之等热量的汽油(0.81kg)只占 1.1L 容积，CNG 所占容积等于汽油的 4.5 倍。要保证相同的续驶里程，天然气汽车储气瓶的体积比汽车油箱就要大许多。虽然可以充分利用原来闲置的空间，但还是会占据一些本来可以作为行李箱等用途的一些有用空间，同时增加了布置上的难度。由于高压气瓶本身的质量较