



目录

CONTENTS

第1章 车用汽油	1
1.1 汽油的性能指标	1
1.2 汽油的评定指标	4
1.3 汽油的选用及注意事项	14
1.4 汽油的改良	16
课后总结和习题	18
第2章 车用轻柴油	21
2.1 汽车用轻柴油的使用性能	21
2.2 汽车用轻柴油的主要性能指标	22
2.3 柴油的质量标准	28
2.4 柴油的选用及注意事项	29
课后总结和习题	31
第3章 车用替代燃料	35
3.1 醇类燃料	35
3.2 乳化燃料	41
3.3 天然气	43
3.4 液化石油气	49
3.5 氢气	52
课后总结和习题	53
第4章 发动机润滑油	59
4.1 发动机润滑油概述	59

4.2 发动机油的使用性能及评定	62
4.3 发动机油的分类及规格	67
4.4 发动机润滑油的选择	69
4.5 发动机润滑油的质量与更换	71
课后总结和习题	74
第5章 车辆齿轮油	77
5.1 车辆齿轮油的使用性能	77
5.2 车辆齿轮油的分类与规格	78
5.3 车辆齿轮油的选用	82
5.4 车辆齿轮油的更换	85
课后总结和习题	86
第6章 汽车润滑脂	89
6.1 润滑脂的组成和使用特点	89
6.2 常用润滑脂的使用性能与使用范围	90
6.3 润滑脂的分类	96
6.4 润滑脂的选择与使用	97
课后总结和习题	101
第7章 汽车液力传动油	103
7.1 液力传动油的特性与性能指标	103
7.2 自动变速器油的分类和规格	105
7.3 液力传动油的选择与使用	107
课后总结和习题	110
第8章 汽车制动液	112
8.1 制动液的质量分级与使用性能要求	112
8.2 制动液的使用性能评定	114
8.3 汽车制动液的选用	117
8.4 制动液使用中的注意事项	118
课后总结和习题	119

第9章 液压系统用油	121
9.1 液压油的使用性能要求与使用特性	121
9.2 液压油的质量标准	123
9.3 液压油的选择与使用	125
课后总结和习题	128
第10章 车用其他工作液	130
10.1 汽车发动机冷却液	130
10.2 减振器油	134
10.3 汽车空调制冷剂	135
课后总结和习题	136
第11章 汽车轮胎	138
11.1 车用轮胎的作用与构造	138
11.2 轮胎的分类	140
11.3 汽车轮胎规格的表示方法	144
11.4 轮胎的使用与选择	154
课后总结和习题	161
参考文献.....	165



第 3 章

车用替代燃料

学习目标及任务

1. 研究车用替代燃料的意义。
2. 车用替代燃料的选择标准。
3. 车用替代燃料的应用情况。

2007年世界各地区石油探明储量分别为：北美 $95 \times 10^8 \text{t}$ （亿吨）（占世界总量的5.6%），中南美 $159 \times 10^8 \text{t}$ （占世界的9.0%），欧洲和苏联 $194 \times 10^8 \text{t}$ （占世界的11.6%），中东 $1029 \times 10^8 \text{t}$ （占世界的61.0%），非洲 $156 \times 10^8 \text{t}$ （占世界的9.5%），亚太地区 $54 \times 10^8 \text{t}$ （占世界的3.3%）。

随着工业和交通事业的发展，由工厂和汽车排放的有害气体，在一定的气候条件下形成烟雾，对生物和人类造成毒害。排放的大量烟雾如果不能扩散，其中的有害气体在大气层中越积越厚，其积存量接近危害健康的极限，发生呼吸道疾病，症状表现为胸疼、咳嗽、流泪、咽痛、声嘶、恶心、呕吐、呼吸困难等。

在石油资源日益减少，环境污染日益严重的双重作用下，开发和寻找污染较少、经济便宜的车用替代燃料已成为当务之急。车用替代燃料的选择标准主要包括：

- （1）资源丰富（最好是可再生能源）。
- （2）价格便宜（氢燃料虽然是最清洁的能源，但是价格昂贵）。
- （3）能量密度大，热值高，携带较少的数量就能维持较长的时间（就像汽油）。
- （4）毒性低，环境污染小（这部分的要求比较严格）。
- （5）对内燃机的可靠性无不良影响。

综合考虑以下能源将作为现阶段较为合适的替代能源：醇类燃料、乳化燃料、天然气、液化石油气、氢气等。



3.1

醇类燃料

目前，世界的石油资源日趋减少，石油燃料的短缺现象已经出现，并且日益严重。



2004年,我国每天的石油需求为 $80 \times 10^7 \text{t}$ (万吨),全年共消耗石油 $3 \times 10^7 \text{t}$,其中进口 $1.2 \times 10^7 \text{t}$,比2003年增长34.8%,这对我国的能源安全造成了巨大的威胁。另外,随着汽车保有量的增长,约占能源总需求量40%的车用燃料的消耗量与日俱增,巨大的燃油消耗不仅对日益枯竭的石油能源造成巨大压力,同时大量燃油燃烧不当所排放出的污染物已成为威胁人类生存的主要因素。因此,寻求资源丰富、环境友好和经济可行的代用燃料已成为人类待解决的重大问题。

国家在新颁布的汽车产业发展政策中明确指出鼓励使用节约能源的柴油汽车合混合动力汽车。同时,加大对使用可再生能源汽车的推广,比如在黑龙江、吉林、辽宁、河南、安徽等省燃用乙醇汽油。从国外情况来看,20世纪70年代起各国就纷纷寻找对策,一方面深入研究内燃机的节能技术,降低比油耗;另一方面挖掘潜能,改变燃料的使用方式,研究内燃机的代替燃料。非石油系液体燃料代替石油系燃料在内燃机中的应用,早在第二次世界大战期间就得到一定程度的发展,但在战后相当长的时间内,由于中东等地石油的大规模开发,抑制了非石油系液体燃料(常称替代燃料)的发展。1973年以来,由于出现多次石油危机以及能源紧缺和能源分布不均衡等原因,使非石油系液体燃料又重新得到了国外内燃机界的重视,特别使缺少石油储量的日本、巴西等国,开展了大量关于替代燃料的研究。

我国目前汽车用汽油约占汽油总消耗量的85%、柴油占20%,随着国民经济的发展,以及汽车进入家庭速度的加快,我国能源供求矛盾将更加突出,寻求车用石油替代燃料的工作已经越来越引起国家的重视,这是国家实施能源可持续发展战略的重点之一。

汽车用醇类燃料主要是甲醇和乙醇。醇类的来源极其丰富,生产工艺成熟。甲醇可以较方便的从煤、木材、天然气、石油伴生气、植物秸秆、甚至城市可燃垃圾等,以及近几年来正在研究中的海草等物质中提炼合成。乙醇既可以有乙醛氢化或乙烯水化和制而成,也可有单糖类(如甘蔗、甜菜等),淀粉类植物(玉米、薯类、大麦等)及纤维类(如木屑、树枝及秸秆等)为原料采用生物发酵方法制成,还可以从再生的农业,林业,废料等生物物质中制取。醇类燃料与汽油的主要理化性质比较见表3-1。

表3-1 醇类燃料与汽油的主要理化性质比较

项目	甲醇	乙醇	汽油
常温下的物理状态	液态	液态	液态
密度/ $(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	0.7914	0.7843	0.72~0.75
沸点/ $^{\circ}\text{C}$	64.8	78.3	30~220
闪点/ $^{\circ}\text{C}$	12	14	-43
自燃点/ $^{\circ}\text{C}$	470	420	260
饱和蒸气压/kPa	30.997	17.332	62.0~82.7
低热值/ $(\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1})$	20.26	27.20	44.52
蒸发潜热/ $(\text{KJ} \cdot \text{kg}^{-1})$	1101	862	297
辛烷值(RON)	112	111	90、93、95
辛烷值(MON)	92	92	85、88、90
十六烷值	3	8	27
相对分子质量	32	46	100~115
着火极限(体积分数)(%)	6.7~36	4.3~19	1.3~7.6
理论空燃比	6.4	9.0	14.8



醇类作为液体燃料，其储运、携带、使用都和传统的汽油、柴油差不多。生产乙醇燃料的原料主要来自农作物属可再生能源，用生物技术路线取代化学技术路线进行生物燃料的生产，已成为全球各国能源规划的核心内容。燃用乙醇燃料可以减少大气中CO₂排放，日本规定在汽油中掺烧部分乙醇。乙醇作为车用燃料在美国和巴西的应用由来已久。我国从去年起在河南等省利用陈化粮食等发酵、蒸馏、脱水制得乙醇，与汽油按1：9混合使用。作为由生物制得的燃料，从长远来讲乙醇是最有利于实现可持续发展的。但是由于目前仅依靠粮食作原料，其产量难以满足数量巨大的机动车需求。另外，由粮食生产的燃料乙醇价格居高不下（4000~5000元/t），也成为推广燃料乙醇的巨大障碍。车用乙醇汽油（GB18351—2001）见表3-2。

表3-2 车用乙醇汽油（GB 18351—2001）

项目		质量指标			试验方法
		90号	93号	95号	
抗爆性：					GB/T 5487
研究法辛烷值（RON）	不小于	90	93	95	GB/T 503
抗爆指数（RON+MON）/2	不大于	85	88	90	GB/T 5487
铅含量/（g·L ⁻¹ ）	不大于	0.005	0.005	0.005	GB/T 8020
馏程：					GB/T 6536
10%蒸发温度/℃	不高于	70			
50%蒸发温度/℃	不高于	120			
90%蒸发温度/℃	不高于	190			
终馏点/℃	不高于	205			
残留量（体积分数）（%）	不大于	2			
蒸汽压/kPa					GB/T 8017
从9月16日至3月15日	不大于	88			
从3月16日至9月15日	不大于	74			
实际胶质/（mg/100ml）	不大于	5			GB/T 8019
诱导期/min	不小于	480			GB/T 8018
硫含量（质量分数）（%）	不大于	0.10			GB/T 380 GB/T 11140 GB/T 0253
硫醇硫含量（质量分数）（%）	不大于	0.001			GB/T 1792
铜片腐蚀	不大于	1			GB/T 5096
水溶性酸或碱	不大于	无			GB/T 259
机械杂质		无			目测
水分（质量分数）（%）	不大于	0.15			SH/T 0246
乙醇含量（体积分数）（%）		9.0～10.05			SH/T 0663
其他含氧化合物（体积分数）（%）		未检出			SH/T 0663
苯含量（体积分数）（%）	不大于	2.5			SH/T 0693
芳香烃含量（体积分数）（%）	不大于	40			GB/T 11132
烯烃含量（体积分数）（%）	不大于	35			GB/T 11132



3.1.1 醇类燃料的特点

1.辛烷值高

醇类燃料的辛烷值与汽油的辛烷值比较如表3-3所示。

表3-3 醇类燃料的辛烷值与汽油的辛烷值比较

燃料种类		MON	RON	灵敏度
甲醇		92	112	20
乙醇		92	111	19
汽油	90号	85	90	5
	93号	88	93	5
	97号	92	97	5

从表3-3中可以看出醇类燃料的辛烷值比汽油高，所以使用醇类燃料的发动机可以通过增大压缩比来提高其热效率，从而提高气动力性和经济性。因此，醇类是汽油车的替代燃料。另外醇类燃料也可以作为高辛烷值组分调入汽油中，进而提高汽油的抗爆能力。还可以看出，醇类燃料的灵敏度非常大。

灵敏度是反映汽油机燃料的抗爆性能随汽油机运转工况激烈程度的情况。对汽油机来说，灵敏度越小越好，醇类燃料的灵敏度大，说明它们在低速时抗爆性能比中速、高速都要好。

2.蒸发潜热大

蒸发潜热实质在常压沸点下，单位质量的纯物质由液体状态变为气体状态需吸收的热量或从气体状态变为液体状态放出的热量。醇类燃料的蒸发潜热大，意味着醇类燃料在发动机内有液体变为气体状态形成可燃混合气时需要吸收的热量比较多。所以醇类燃料在低温条件下启动时，往往会由于气化所需要热量不足，导致形成的混合气浓度较低，从而形成发动机启动困难。因此，燃烧醇类的发动机需加进气预热系统，以保证其低温启动性能。

醇类燃料蒸发潜热大的优点是：形成的混合气温度低，其充气效率会提高，进而可使发动机动力性增强；蒸发潜热大，形成混合气时对发动机内部机件有冷却作用，可减少冷却系统和润滑系统的冷却负担，从而提高发动机的使用寿命。

3.着火极限宽

着火极限是指混合气可以着火的最小浓度和最大浓度之间的范围，浓度是以空气中可燃混合气的体积分数表示。醇类燃料的着火极限比汽油宽的多，可以实现稀薄燃烧，能有效降低发动机在部分负荷时的能量消耗与排放污染。

4.热值低

醇类燃料的热值比汽油低。甲醇热值约为汽油的一半，以纯的热值约为汽油的61%。但由于醇类燃料存在自供氧效应，理论空燃比比汽油低，甲醇理论空燃比约为汽油的43%，乙醇理论空燃比约为汽油的60%。所以在同样的过量空气系数下混合气的热值和汽油相当，汽



车使用醇类燃料时动力性不会降低。

5. 腐蚀性大

醇类燃料的化学性较强，对铜铝等金属具有较强的腐蚀能力。对橡胶和塑料等非金属也具有较大的溶胀作用。

6. 沸点低

醇类燃料的沸点低，有助于形成燃料与空气的混合气。但温度高时，容易在燃油供给系中产生气阻现象，严重会使供油中断，发动机熄火。

7. 储存和运输方便

醇类燃料在常温下为液态，与传统燃料汽油、柴油相似，所以储存和使用比较方便。

8. 排放污染低

醇类燃料的蒸发潜热大，甲醇的蒸发潜热约为汽油的3.7倍，乙醇的蒸发潜热约为汽油的2.9倍，所以使用醇类燃烧的燃烧温度较低，对氮氧化物的生成有抑制作用；醇类燃料分子没有C—C键结构，燃烧中不会有多环芳香烃，通过缩和形成碳烟粒子的现象，因此排气中基本没有碳烟；醇类燃料氧含量很高，且C/H值比汽油小，混合气燃烧较完全，因此排气中未燃烃类与CO含量也相应降低。但醇类燃料的排气中未燃醇类和相应醛类较多。

3.1.2 醇类燃料的应用

醇类燃料的辛烷值高，是良好的机油替代燃料。但由于其着火性差，十六烷值比柴油低好多，所以在柴油机上使用比较困难。汽油机应用醇类燃料主要有两种方法：掺醇燃烧和纯醇燃烧。

1. 掺醇燃烧

掺醇燃烧时指把甲醇和乙醇以不同的比例掺入汽油中。甲醇和乙醇与汽油的混合燃料分别用M (methanol) 和E (ethanol) 加一数字表示，其后数字表示混合燃料中甲醇和乙醇的体积分数，如M15表示甲醇体积分数是15%的混合燃料，E10表示乙醇体积分数为10%的混合燃料。

(1) 抗爆性好

醇类燃料的辛烷值比汽油高，掺和后，可以明显提高汽油的抗爆能力。因此，燃烧掺醇汽油时，可以通过提高发动机的压缩比来提高其热效率，进而提高其动力性和燃油经济性。

(2) 排放尾气中NO_x类及CO的含量低

掺醇汽油的优点是醇类燃料蒸发潜热高，使掺醇汽油形成的混合气燃烧温度低，因而排放尾气中NO和CO含量低，醇类燃料含氧量高，C/H值比汽油小，使掺醇汽油形成的混合气燃烧完全，因而尾气中烃类含量低。

(3) 低醇燃料的比普通汽油有着更低的燃油经济性



2. 掺醇汽油缺点

(1) 醇类燃料与汽油的互溶性差

醇类燃料具有较强的极性，与汽油的互溶性较差。其互溶性受醇与汽油的混合比例、助溶剂的品种和加入量、混合温度等影响。当醇的含量较高或较低时，醇与汽油可以不借助溶剂实现互溶，但在很大比例内不能实现互溶，必须借助互溶剂。常用的助溶剂有甲基叔丁基醚、叔丁醇、异丁醇、正丁醇等。同时混合温度越高，醇与汽油的互溶性越好。

(2) 掺醇汽油容易出现分层现象

掺醇汽油中的醇与汽油的互溶性受水分的影响大，水分易引起体系分层。醇类燃料的吸水性强，在使用和储存掺醇汽油时会自动从空气中吸取水分，当水分含量达到一定程度时便出现油水分离现象。为解决油水分层现象，必须使用水含量较低的醇类燃料。同时在储存和使用过程中要严防水分混入。

(3) 掺醇汽油对发动机的金属、橡胶和塑料具有一定的腐蚀性。

(4) 掺醇汽油的低温启动性差，高温时会发生气阻。这主要是醇类燃料的蒸发潜热大、沸点低造成的。

3. 纯醇燃烧

纯醇燃烧是指单纯燃烧甲醇或乙醇燃料。从弥补石油资源短缺的角度来说，纯醇燃料用于发动机燃烧比掺醇燃料，尤其比低掺醇燃料更具有实际意义。因此，对纯醇燃料的使用也进行了许多研究工作。

纯醇燃烧时，可根据甲醇或乙醇燃料的特点对发动机进行改造，使其动力性经济性和排放性比燃烧汽油时有较大的提高。燃烧甲醇时，发动机的平均有效压力，热效率比燃烧汽油时高，排放气体中的氮氧化合物、未燃碳氢化合物和一氧化碳的含量比燃烧汽油时低，但燃油消耗率和排放中的甲醛含量比燃烧汽油时高。燃烧乙醇时的有关性能和燃烧甲醇时相似，只是排放气体中的乙醇和乙醛的含量较大。使用纯醇燃料需对发动机的改动较大，主要更改之处有调整供油系统，加大油泵供油量，加装进气预热装置和改善零部件的抗腐蚀性能等。

在石油资源日益减少、环境污染日益严重的双重作用下，开发和寻找污染少经济便宜的车用替代燃料已成为当务之急。作为石油的替代能源，甲醇和乙醇在技术和成本方面已达到实用阶段。醇类燃料的资源比较丰富，可以从多种原料中进行提取。在2003年由山西政府组织在五个城市率先封闭推广使用甲醇燃料。目前我国河南、山西、黑龙江、四川、云南等省市对甲醇燃料的推广使用给予了大力支持，在一定范围内实现部分替代石油产品。

4. 醇类燃料在不同燃料类型的发动机上使用的问题

(1) 柴油机上的着火和启动性能

醇类燃料的十六烷值很低，着火温度比柴油高，汽化潜热比柴油高，这就使得醇类燃料着火性能很差，从而冷启动性能不如柴油。

采用柴油机原喷油系统即在进气管上加化醇器供给醇类的方式，可以在启动时全部用柴油作燃料保持原有的启动性能，又可在正常工况时用排气管预热进气管，提供醇类燃料



汽化所需的热量,改善着火性能。

在柴油机中,由于是质调节和压缩多点自燃,可以用柴油起引燃作用,减少醇类燃料着火性能差对柴油机着火性能的影响。

醇类燃料在压燃式发动机上的混合气形成和燃烧特性。利用进气管气化醇类燃料,则与空气的预混时间延长,混合的均相性与均质性都有所改善。喷射柴油作为引燃,混合气的火焰传播速度比纯柴油大,燃烧和放热速度提高,燃烧持续期缩短,放热更为集中,这些都有助于增加柴油机的有效热效率。柴油机燃用柴油醇混合燃料后,滞燃期增长,预混燃烧的燃料量增加,扩散燃烧的燃料量减小,最大压力升高率增加,燃烧粗暴,噪声增加1~3dB。

(2) 燃用混醇汽油时的排气温度、排放污染和噪声

汽油机燃用混醇汽油后,排气温度下降,其温度下降量随混醇率的增加而增加。这是因为混醇汽油的低热值小于汽油,而汽化潜热却比汽油高,在其他条件相同的情况下,汽缸内压缩最高温度和燃烧最高温度均降低,同时,混醇汽油的火焰传播速度增加,燃烧持续期缩短,后燃较少,以上因素都使得汽油机排气温度降低。

甲醇是含氧燃料,并且含碳量比汽油低得多,因此混醇汽油的燃烧具有自供氧效应,排气中碳烟很少。发动机的氧氮排放量与最高燃烧温度的高低以及峰值温度持续时间有决定性的关系。燃用混醇汽油后,由于其燃烧的峰值温度较低,高温持续时间短,所以氧氮排放降低。另外,混醇汽油燃烧后的排气中,CO和HC的含量也比燃用纯汽油时少。但是,燃用加入甲醇的汽油后,排气中相应的含有未燃甲醇和甲醛等非法排放,其中甲醛是排气中臭味的主要组成部分,并且有毒性,所以混醇汽油中的甲醇含量一般控制在20%以下为宜。对乙醇汽油的大量研究表明,在市售汽油中添加10%~15%的乙醇,可以减少CO的排放14%~43%,HC的排放也可减少7%~14%,但NO_x的排放增加或减少5%左右,冷启动性和加速性无明显变化,油耗有所增加。



3.2

乳 化 燃 料

乳化燃料燃烧可以从燃烧的物理过程和化学过程来解释。

通过微爆燃烧,减少了火焰中的碳粒,提高了油的燃烧程度,改善了燃烧状况,提高了油的燃烧效率。在缺氧条件下,燃料中由于高温裂解产生的碳粒子,能与水蒸气反应生成CO和H₂,使碳粒子能充分燃烧,提高了燃烧率,降低了排烟中的烟尘含量;另一方面,由于乳化水的蒸发作用,均衡了燃烧时的温度场,从而抑制了NO_x的形成。

乳化燃料是指汽油和柴油等燃料和水相混合并经特殊处理后形成的一种相对稳定的乳液。燃料油的乳化技术,在世界范围内的研究已经持续数十年,由于其明显的节能效果和环保效益,在其科学机理尚未完全揭示的同时,各方面的应用已在全世界迅速展开。在



当前世界各国城市现代化发展中，内燃机排放污染已成为城市中一大污染源。乳化燃料由于其独特性质，在使用期间，可有效减少氮氧化物、一氧化碳、颗粒物生成，目前该项技术已在美国、意大利、法国、德国、英国得到积极推广使用。

将水掺到燃料油中改善燃烧这一设想，早在20世纪就已有人提出，到21世纪初，美国、苏联及欧洲一些工业国家，开始乳化掺水燃料油的应用研究，由于在当时的条件下，乳化燃油技术水平较低，能源问题并不突出，乳化燃料技术发展处在较低较缓慢的状态。20世纪50年代后期，环境与发展矛盾日渐明显，石油危机开始出现，具备节能降污双重机能的燃料油掺水技术获得重视，美国、苏联、日本等都将该技术列为国家级重点项目进行开发研究，并取得积极的应用成果。1981年7月召开的国际燃烧协会第一届年会上，燃料油乳化掺水燃烧被列为三大节能措施之一。我国自20世纪50年代末起，也在该领域进行积极研究，并取得一定成果。80年代初，鉴于我国能源短缺，国家计委、国家科委、中科院联合发文，组织研究乳化燃料技术，国家相关研究机构及个人纷纷投入研究，取得了一定的实用成果。



3.2.1 乳化燃料节能降污的原理

乳化燃料燃烧是个复杂的过程，对其节能降污机理较为成熟的解释是乳化燃料燃烧中存在的“微爆”现象和水煤气反应，也就是从燃烧的物理过程和化学过程来解释。

1.微爆理论

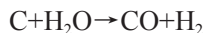
乳化油燃烧过程的物理作用即所谓“微爆”作用。油包水型分子基团，油是连续相，水是分散相。由于油的沸点比水高，受热后水总是先达到沸点而蒸发或沸腾。当油滴中的压力超过油的表面张力及环境压力之和时，水蒸气将冲破油膜的阻力使油滴发生爆炸，形成更细小的油滴，这就是所说的微爆或称二次雾化。爆炸后的细小油滴与空气更加充分混合，油液燃烧的更完全，使内燃机或油炉达到节能之效果。

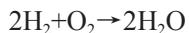
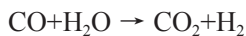
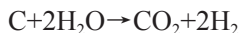
2.燃烧化学反应动力学理论

水能促进燃烧时的化学反应，水蒸气参与了一氧化碳的燃烧反应。水的存在在化学反应中形成许多活性中心（OH）： $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}^+ + \text{OH}$ 而烃类在燃烧过程中，形成许多中间产物或不完全燃烧产物，其中包括CO、OH是相当活泼的活性中心，它可与中间产物结合： $\text{CO} + \text{OH} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}$ ，这就是说OH根等活性中心会使CO燃烧速度加快。

另外，在密闭容器中，CO和O₂的混合气最大火焰传播速度与水分的关系是随含水量的增加而增大，也促进了CO的燃烧速度。由于CO的燃烧速度加快，因而热能放出及时，且在活塞压缩上止点附近。所以能量的质量好，作功能力强。还有，由于水比热大，水蒸发时吸热，引起内部冷却，不仅减少了NO_x的生成，且可使发动机不易产生爆燃。从而使点火提前角增大，以达到节能的效果。

化学作用即水煤气反应。在高温条件下，部分水分子与未完全燃烧的炽热的碳粒发生水煤气反应，形成可燃性气体，反应式如下：





上述这些反应，减少了火焰中的碳粒，提高了油的燃烧程度，改善了燃烧状况，提高了油的燃烧效率。在缺氧条件下，燃料中由于高温裂解产生的碳粒子，能与水蒸气反应生成CO和H₂，使碳粒子能充分燃烧，提高了燃烧率，降低了排烟中的烟尘含量，另一方面，由于乳化水的蒸发作用，均衡了燃烧时的温度场，从而抑制了NO_x的形成。通过上述的微爆及水煤气反应，乳化油燃料可获得减轻大气污染和节约能源的双重效果。



3.2.2 燃料乳化的方法

1. 超声波法

超声波是频率高于20000Hz（赫兹）的声波，它方向性好，穿透能力强，易于获得较集中的声能，在水中传播距离远，可用于测距、测速、清洗、焊接、碎石、杀菌消毒等。在医学、军事、工业、农业上有很多的应用。超声波法设备简单，耗能少，乳化液颗粒细小均匀、节油效果也较好。

2. 机械混合法

机械混合法设备简单，如齿轮泵、高压动力泵、静态混合器等设备。但乳化燃料效果差，不稳定，耗能大。



3.2.3 乳化燃料的稳定性

稳定性是评价乳化燃料质量好坏的指标。在运输和储存过程中，乳化燃料的稳定性起决定性的作用。稳定性不好的燃料会形成分层、变型、破乳等。乳化燃料的稳定性与乳化添加剂的类型、数量、储存温度、掺水量搅拌程度等有关。

乳化添加剂是一种具有乳化作用的表面活性剂，其化学结构由极性基和非极性基构成，极性基具有亲水性质，非极性基具有亲油性质。所以水和油就都“紧紧围绕”在乳化剂的周围，并保持稳定。



3.3

天然气

天然气是存在于地下岩石储集层中以烃为主体的混合气体的统称，比重约0.65，比空气轻，具有无色、无味、无毒之特性。



3.3.1 天然气的理化性质

天然气主要成分是烷烃，其中甲烷占绝大多数，另有少量的乙烷、丙烷和丁烷，此外一般还有硫化氢、二氧化碳、氮、水汽和少量一氧化碳及微量的稀有气体，如氦和氩等。不同产地天然气的组成成分见表3-4。

表3-4 不同产地天然气的组成成分

名称	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C _m H _n	H ₂	N ₂	CO ₂	H ₂ S
气田天然气（四川）	97.20	0.70	0.20	—	—	0.10	0.70	1.0	0.10
油田天然气（四川）	88.59	6.06	2.02	1.54	0.06	0.07	1.46	0.2	—
大庆天然气	91.05	1.64	2.70	2.23	1.09	—	—	—	—

近20多年来，世界天然气需求持续稳定增长，平均增长率保持在2%，专家预计2020年其世界能源组成中的比重将会增加到30%。21世纪天然气在世界能源结构中的比重将超过石油，成为世界第一大能源。

从广义的定义来说，天然气是指自然界中天然存在的一切气体，包括大气圈、水圈、生物圈和岩石圈中各种自然过程形成的气体。而人们长期以来通用的“天然气”的定义，是从能量角度出发的狭义定义，是指天然蕴藏于地层中的烃类和非烃类气体的混合物，主要存在于油田气、气田气、煤层气、泥火山气和生物生成气中。天然气的主要物化特性见表3-5。

表3-5 天然气的主要物化特性

物化特性参数	数值	物化特性参数	数值
H/C原子比	4	理论空燃比（质量比）	17.25
密度（液相）/（kg·m ⁻³ ）	424	理论空燃比（体积比）	9.52
密度（气相）/（kg·m ⁻³ ）	0.715	高热值/（MJ·kg ⁻¹ ）	55.54
分子量	16.043	低热值/（MJ·kg ⁻¹ ）	50.05
沸点/℃	-161.5	混合气热值/（MJ·m ⁻³ ）	3.39
凝点/℃	-182.5	混合气热值/（MJ·kg ⁻¹ ）	2.75
临界温度/℃	-82.6	低热值（液态）/（MJ·kg ⁻¹ ）	21.22
临界压力/MPa	4.62	辛烷值（RON）	130
汽化潜热/（kJ·kg ⁻¹ ）	510	着火极限（体积分数）（%）	5~15
比热容（液体，沸点）/（kJ·kg ⁻¹ ·K）	3.87	着火温度（常压下）/℃	537
比热容（气体，25℃）/（kJ·kg ⁻¹ ·K ⁻¹ ）	2.23	火焰传播速度/（cm·s ⁻¹ ）	33.8
气/液容积比（15℃）	624	火焰温度/℃	1918

天然气又可分为伴生气和非伴生气两种。伴随原油共生，与原油同时被采出的油田气叫伴生气；非伴生气包括纯气田天然气和凝析气田天然气两种，在地层中都以气态存在。



凝析气田天然气从地层流出井口后，随着压力和温度的下降，分离为气液两相，气相是凝析气田天然气，液相是凝析液，叫凝析油。与煤碳、石油等能源相比，产生的二氧化碳仅为煤的40%左右，产生的二氧化硫也很少。天然气燃烧后无废渣、废水产生，具有使用安全、热值高、洁净等优势。

在标准状况下，甲烷至丁烷以气体状态存在，戊烷以上为液体。天然气储量丰富，目前天然气的使用直线上升，在世界范围内已经出现了天然气紧缺的状况。主要原因是生产能力不足的原因。

若天然气在空气中浓度为5%~15%的范围内，遇明火即可发生爆炸，这个浓度范围即为天然气的爆炸极限。爆炸在瞬间产生高压、高温，其破坏力和危险性都是很大的。依天然气蕴藏状态，又分为构造性天然气、水溶性天然气、煤矿天然气等三种。而构造性天然气又可分为伴随原油出产的湿性天然气、不含液体成分的干性天然气。



3.3.2 天然气的种类及特点

天然气是一种重要的能源，广泛用作城市煤气和工业燃料；但通常所称的天然气只指储存于地层较深部的一种富含碳氢化合物的可燃气体，而与石油共生的天然气常称为油田伴生气。

天然气燃料是各种替代燃料中最早广泛使用的一种，它分为压缩天然气（CNG）和液化天然气（LNG）两种。

1. 液化天然气

天然气在常压下，冷却至约-162℃时，则由气态变成液态，称为液化天然气（Liquefied Natural Gas, LNG）。LNG的主要成分为甲烷，还有少量的乙烷、丙烷以及氮等。天然气在液化过程中进一步得到净化，甲烷纯度更高，几乎不含二氧化碳和硫化物，且无色无味、无毒。

液化天然气（LNG）在中国已经成为一门新兴工业，正在迅猛发展。液化天然气（LNG）技术除了用来解决运输和储存问题外，还广泛地用于天然气使用时的调峰装置上。由于天然气的产地往往不在工业或人口集中地区，因此必须解决运输和储存问题。天然气的主要成分是甲烷，其临界温度为190.58K，在常温下无法仅靠加压将其液化。天然气的液化、储存技术已逐步成为一项重大的先进技术。

液化天然气与天然气比较有以下优点：

1) 便于储存和运输

液化天然气密度是标准状态下甲烷的625倍。也就是说，1m³液化天然气可气化成625m³天然气，由此可见储存和运输的方便性。

2) 安全性好

天然气的储藏和运输主要方式是压缩（CNG）。由于压缩天然气的压力高，带来了很多安全隐患。



3) 间接投资少

压缩天然气（CNG）体积能量密度约为汽油的26%，而液化天然气（LNG）体积能量密度约为汽油的72%，是压缩天然气（CNG）的两倍还多，因而使用LNG的汽车行程远，相对可大大减少汽车加气站的建设数量。

4) 调峰作用

天然气作为民用燃气或发电厂的燃料，不可避免会有需要量的波动，这就要求供应上具有调峰作用。

5) 环保性

天然气在液化前必须经过严格的预净化，因而LNG中的杂质含量远远低于CNG，为汽车尾气或作为燃料使用时排放满足更加严格的标准（如“欧Ⅱ”甚至“欧Ⅲ”）创造了条件。

2. 液化石油气

液化石油气（liquefied petroleum gas, LPG）是石油产品之一。是由炼厂气或天然气（包括油田伴生气）加压、降温、液化得到的一种无色、挥发性气体。

液化石油气（简称液化气）是石油在提炼汽油、煤油、柴油、重油等油品过程中剩下的一种石油尾气，通过一定程序，对石油尾气加以回收利用，采取加压的措施，使其变成液体，装在受压容器内，液化气的名称即由此而来。它的主要成分有乙烯、乙烷、丙烯、丙烷和丁烷等，同时含有少量戊烷、戊烯和微量硫化物杂质。由天然气所得的液化气的成分基本不含烯烃。在气瓶内呈液态状，一旦流出会汽化成比原体积大约250倍的可燃气体，并极易扩散，遇到明火就会燃烧或爆炸。因此，使用液化气也要特别注意。

3. 液化煤层气

中国是世界煤炭生产大国，煤层气相应的储藏量也很大，储藏量和天然气基本一样，其基本成分是甲烷。它除了是廉价的化工原料外，主要作为燃料使用，它不仅作为居民的生活燃料，而且还被用作汽车、船舶、飞机等交通运输工具的燃料。由于煤层气热值高，燃烧产物对环境污染少，被认为是优质洁净燃料。

将煤层气液化后使用，主要有几方面好处：

1) 经济性

投资成本较低，回收快。

2) 安全性

“先采气，后采煤”的方式已成为发达国家能源利用的基本方式。“先采气，后采煤”大大提高了采煤的安全性。

3) 政策性

此方式可节约能源，做到能源的彻底利用，符合国家的相关政策。有利于获得政府的支持。

煤层气液化设备和天然气液化设备基本一样，只是由于大多数煤层气中氧、氮的含量比天然气略高，需要增加一套精馏系统。



4.压缩天然气

压缩天然气（Compressed Natural Gas，CNG）是天然气加压并以气态储存在容器中。压缩天然气除了可以用油田及天然气田里的天然气外，还可以人工制造生物沼气（主要成分是甲烷）。

压缩天然气与管道天然气的组分相同，主要成分为甲烷（CH₄）。CNG可作为车辆燃料使用。CNG可以用来制作LNG（Liquefied Natural Gas），这种以CNG为燃料的车辆叫做NGV（Natural Gas Vehicle）。液化石油气（Liquefied Petroleum Gas，LPG）经常容易与CNG混淆，其实它们有明显区别。车用压缩天然气的技术指标见表3-6。

表3-6 车用压缩天然气的技术指标

项目	技术指标
高位发热量/（MJ·m ⁻³ ）	≥31.4
总硫（以硫计）/（mg·m ⁻³ ）	≤100
硫化氢/（mg·m ⁻³ ）	≤15
二氧化碳（体积分数）（%）	≤3.0
氧气（体积分数）（%）	≤0.5
水露点/℃	在汽车驾驶的特定地理区域内，在高操作压力下，水露点不应高于-13℃；当最低气温低于-8℃，水露点应比最低气温低5℃

CNG压缩天然气的火灾危险性：

1) 燃烧爆炸性

可燃气体处于爆炸浓度范围内遇引火源能发生燃烧或爆炸。

2) 扩散性

气体扩散性受气体本身密度的影响。密度比空气越轻，扩散性越大。

3) 膨胀性

压缩气体因受热膨胀，使气瓶承受压力增大，可引起气瓶破裂或爆炸。



3.3.3 天然气在汽车上的使用

简单地说，天然气汽车是以天然气为燃料的一种气体燃料汽车。天然气的甲烷含量一般在90%以上，是一种很好的汽车发动机燃料。目前，天然气被世界公认为是最为现实和技术上比较成熟的车用汽油、柴油的代用燃料，天然气汽车已在世界和我国得到了推广应用。

目前推广应用的是可分别燃用压缩天然气或汽油压缩天然气—汽油两用燃料汽车，简称汽车天然气改装，今后还将大力推广应用单燃料天然气汽车。车用压缩天然气的压力一般在20MPa左右。可将天然气，经过脱水、脱硫净化处理后，经多级加压制得。其使用时的状态为气体。



1. 天然气汽车的主要优缺点

(1) 汽车油改气是清洁燃料汽车

油改气汽车的排放污染大大低于以汽车为燃料的汽车，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%，氮氧化合物降低70%。因此，许多国家已将发展汽车油改气作为一种减轻大气污染的重要手段。

(2) 汽车天然气改装有显著的经济效益

1) 可降低汽车营运成本

目前天然气的价格比汽油和柴油低得多，燃料费用一般节省50%左右，使营运成本大幅降低。由于油气差价的存在，汽车油改气费用可在一年之内收回。

2) 可节省维修费用

发动机使用天然气做燃料，运行平稳、噪音低、不积碳，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。

(3) 比汽油汽车更安全

首先与汽油相比，压缩天然气本身就是比较安全的燃料。这表现在：

1) 燃点高

天然气燃点在 650°C 以上，比汽油燃点(427°C)高出 223°C ，所以与汽油相比不易点燃。

2) 密度低

与空气的相对密度为0.48，泄漏气体很快在空气中散发，很难形成遇火燃烧的浓度。

3) 辛烷值高

辛烷值高可达130，比目前最好的96号汽车辛烷值高得多，抗爆性能好。

4) 爆炸极限窄

爆炸极限窄仅5%~15%，在自然环境下，形成这一条件十分困难。

5) 释放过程是一个吸热过程

当压缩天然气从容器或管路中泄出时，泄孔周围会迅速形成一个低温区，使天然气燃烧困难。

(6) 汽车天然气改装所用的配件比汽油车要求更高

表现在：国家颁布有严格的天然气汽车技术标准。从加气站设计、储气瓶生产、改车部件制造到安装调试等，每个环节都形成了严格的技术标准。

设计上考虑了严密的安全保障措施。对高压系统使用的零部件，安全系数均选用1.5~4以上，在减压调节器、储气瓶上安装有安全阀，控制系统中，安装有紧急断气装置。储气瓶出厂前要进行特殊检验。气瓶经常规检验后，还需充气作火烧、爆炸、坠落、枪击等试验，合格后，方能出厂使用。

2. 天然气汽车的类型

天然气汽车分类按天然气燃料状态分类，按照所使用天然气燃料状态的不同，天然气汽车可以分为：压缩天然气汽车和液化天然气汽车。



(1) 压缩天然气（CNG）汽车

汽车压缩天然气是指压缩到20.7~24.8MPa的天然气，储存在车载高压气瓶中。压缩天然气是一种无色透明、无味、高热量、比空气轻的气体，主要成分是甲烷，由于组分简单，易于完全燃烧，加上燃料含碳少，抗爆性好，不稀释润滑油，能够延长发动机使用寿命。

(2) 液化天然气（LNG）汽车

液化天然气是指常压下、温度为-162℃的液体天然气，储存于车载绝热气瓶中。液化天然气燃点高、安全性能强，适于长途运输和储存。

3.天然气汽车技术

(1) 加气站技术

因天然气加注到汽车上时，无论是压缩天然气还是液化天然气，使用的加注设备均比传统的燃料复杂，需要保障加注过程的安全和有效。

(2) 发动机技术

天然气的物化性能与汽油和柴油不同，因此，天然气发动机应该根据天然气自身的理化性能和燃烧过程，有针对的对影响燃烧效果的结构进行重新设计。

(3) 气瓶技术

汽车在使用过程中需要不断的运动，因此要求气瓶保证运行过程中的压力或温度，满足天然气的存储和使用需要。



3.4

液化石油气

液化石油气是无色气体或黄棕色有特殊臭味的油状液体。LPG是指经高压或低温液化的石油气，简称“液化石油气”或“液化气”。其组成是丙烷、正丁烷、异丁烷及少量的乙烷、大于碳5的有机化合物、不饱和烃等。



3.4.1 液化石油气的理化性能

液化石油气的理化性能指标如表3-7、表3-8、表3-9所示。

表3-7 液化石油气的主要物化特性

物化特性参数	丙烷	丁烷	物化特性参数	丙烷	丁烷
H/C原子比	2.67	2.5	理论空燃比（质量比）	15.65	15.43
密度（液相）/（kg·m ⁻³ ）	528	602	理论空燃比（体积比）	23.81	30.95
密度（气相）/（kg·m ⁻³ ）	2.02	2.598	高热值/（MJ·kg ⁻¹ ）	50.38	49.56
分子量	44.097	58.124	低热值/（MJ·kg ⁻¹ ）	45.77	46.39



续表

物化特性参数	丙烷	丁烷	物化特性参数	丙烷	丁烷
沸点/℃	-42.1	-0.5	混合气热值/(MJ·m ⁻³)	3.49	3.52
凝点/℃	-187.7	-138.4	混合气热值/(MJ·kg ⁻¹)	2.79	2.79
临界温度/℃	96.7	152.0	低热值(液态) /(MJ·kg ⁻¹)	27.00	27.55
临界压力/Mpa	4.25	3.8	辛烷值(RON)	111.5	95
汽化潜热/(kJ·kg ⁻¹)	426	385	着火极限(体积分数)(%)	2.2~9.5	1.9~8.5
比热容(液体, 沸点) /(kJ·kg ⁻¹ ·K ⁻¹)	2.48	2.36	着火温度(常压下) /℃	466	430
比热容(气体, 25℃) /(kJ·kg ⁻¹ ·K ⁻¹)	1.67	1.68	火焰传播速度 /(cm·s ⁻¹)	38	37
气/液容积比(15℃)	273	236	火焰温度/℃	1970	1975

表3-8 石油炼厂液化石油气主要成分的体积分数

石油炼厂	C ₃ H ₈	C ₃ H ₆	C ₄ H ₁₀	C ₄ H ₈	C ₂ H ₆ +C ₂ H ₄	其他
南京石油化工厂	18.17	23.06	29.04	26.45	1.28	2.0
大庆炼油厂	13.60	50.90	—	31.80	0.20	3.5
锦州石油六厂	8.50	24.50	23.90	33.40	1.30	8.4

表3-9 车用液化石油气的技术要求

项目		质量指标		试验方法
		车用丙烷车用丙丁烷混合物		
37.8℃蒸汽压（表压）/kPa		≤1430	≤1430	按GB/T 6602
组分（%）	丙烷	—	≥60	按SH/T 0230
	丁烷及以上组分	≤2.5	—	
	戊烷及以上组分	—	≤2	
	丙烯	≤2.5	≤5	
残留物	100mL蒸尧残留物/mL	≤0.05	≤0.05	按SY/T 7509
	油渍观察	通过	通过	
密度（20℃或15℃）/（kg·m ⁻³ ）		实测	实测	按SH/T 0231
铜片腐蚀		不大于1级	不大于1级	按SH/T 0232
总硫含量（体积分数）（×10 ⁻⁶ ）		≤123	≤123	按SY/T 7508
游离水		无	无	目测



3.4.2 液化石油气的优点

LPG的具有易燃易爆性、气化性、受热膨胀性、滞留性、带电性、腐蚀性及窒息性等特点。LPG一般是从油气田、炼油厂或乙烯厂石油气中获得。LPG与其他燃料比较,具有以下独特的优点。

1. 污染少

LPG是由C3(碳三)、C4(碳四)组成的碳氢化合物,可以全部燃烧,无粉尘。在现代城市中应用,可大大减少过去以煤、柴为燃料造成的污染。

2. 发热量高

同样质量LPG的发热量相当于煤的2倍,液态发热量为45185~45980 kJ/kg。

3. 易于运输

LPG在常温常压下是气体,在一定的压力下或冷冻到一定温度可以液化为液体,可用火车(或汽车)槽车、LPG船在陆上和水上运输。

4. 压力稳定

LPG运输管道中的压力变化小,使用方便。

5. 储存简单,供应灵活

与城市煤气的生产、储存、供应情况相比,LPG的储存设备比较简单,气站用LPG储罐储存,又可装在气瓶里供用户使用,也可通过配气站和供应管网,实行管道供气,使用方便。

3.4.3 液化石油气在汽车上的使用

液化石油气汽车按照燃料供给系不同可以分为专用液化石油气汽车、液化石油气与汽油两用燃料汽车和液化石油气与柴油双燃料汽车等。

1. LPG单燃料发动机汽车

发动机的燃料供给系统专为燃用LPG燃料设计,其结构保证燃料能有效利用。

2. 两用燃料(汽油和LPG)汽车

当前大多数LPG车为两用燃料车,且已全面到达商品化阶段。没有两套燃料供给系统,利用选择开关实现发动机从一种燃料到另一种燃料的转换,但两种燃料不允许同时混用。主要有以下几种:

①化油器式汽油车改装的两用燃料发动机。两用燃料指汽油和LPG。

②电控燃油喷射系统的车辆改装为开环两用燃料的LPG汽车。

③电控燃油喷射系统的车辆改装为闭环两用燃料的LPG汽车。

3. 液化石油气—柴油双燃料发动机汽车

液化石油气—柴油双燃料发动机以通常的方式喷入少量柴油作为点燃液化石油气与空气混合气的引燃燃料,而把液化石油气作为主要燃料。



在可替代能源的研究中，氢能源在汽车行业中的应用是世界各国未来车用能源的研发重点。氢气的主要物化特性见表3-10。

表3-10 氢气的主要物化特性

物化销售特性参数	数值	物化特性参数	数值
质量热值/ ($\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$)	高141.8	与空气理论混合气热值/ ($\text{MJ}\cdot\text{m}^{-3}$)	3.186
	低120.1	理论混合气点火能量/J	3.18×10^{-5}
摩尔热值/ ($\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$)	高285.8	最小点火能量/J	1.34×10^{-5}
	低242.1	空气中的最大火焰速度/ ($\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$)	291
标态体积热值/ ($\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$)	高12.74	最大火焰速度时的温度/K	2380
	低10.08	最大火焰速度时的当量比	1.7
理论空燃比/ ($\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	0.02915	气态密度/ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	0.08987
理论空燃比/ ($\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	34.38	液态密度/ ($\text{kg}\cdot\text{L}^{-1}$)	0.071
空气中燃烧界限 (体积分数) (%)	4.1~75	气态黏度/ ($\text{MPa}\cdot\text{s}$)	0.0202
极限过量空气系数	0.15~7.0	汽化热/ ($\text{kJ}\cdot\text{kmol}^{-1}$)	90.4
着火温度/ $^{\circ}\text{C}$	571	沸点/ $^{\circ}\text{C}$	-253
与空气燃烧理论体积分数 (%)	29.5		



3.5.1 氢能的优越性

氢能具有其他能源无法比拟的优越性：

1. 热值高

氢气燃烧放热量为121061 kJ/kg，是汽油的3倍；

2. 着火界限宽

氢气在空气中燃烧的界限非常宽，为4.1% ~75%，比汽油和柴油的着火界限大得多。氢气可以实现稀薄燃烧，可以降低发动机在各个部分负荷时的能量消耗与排放污染。

3. 燃烧无污染

燃烧产物是水，不会对环境造成污染。

4. 来源广泛可再生

不仅化石燃料和生物质中含有丰富的氢，而且水也是最为广泛的氢源，氢由化学反应发出电能（或热）并生成水，而水又可由电解转化为氢和氧，如此循环，永无止境。



5. 点火能量低

点火能量为 $1.33 \times 10^{-5} \text{J}$,比一般烃类低一个数量级。比汽油小得多。

6. 火焰传播速度高

氢气燃烧的速度可以达到近 300m/s ,接近汽油燃烧的6倍。

7. 自燃温度高

氢气的自燃温度能够达到 580°C ,柴油为 350°C ,因而,储运安全性好。

8. 热效率高

氢气的自燃温度比较高,其辛烷值比异辛烷高,抗爆性能高于汽油。因而可以采用提高压缩比的方法来提高发动机的热效率。

9. 氢是和平能源

因为它既可再生又来源广泛,每个国家都有丰富的氢矿,可以不依赖化石能源。

综上所述,氢能是唯一可以同时满足资源、环境和持续发展要求的能源,是其他能源所不能比拟的。

氢是可以取代石油的燃料,其燃烧产物是水,不污染环境。氢气可以从电解水、煤的气化中大量制取,而且不需要对汽车发动机进行大的改装,因此氢能汽车具有广阔的应用前景。

3.5.2 氢能汽车需要解决的技术问题

推广氢能汽车需要解决三个技术问题:

- (1) 大量制取廉价氢气的方法,传统的电解方法价格昂贵,且耗费其他资源,无法推广。
- (2) 解决氢气的安全储运问题。
- (3) 解决汽车所需的高性能、廉价的氢供给系统。

3.5.3 氢气在发动机上的使用

常见的氢能供给系统有三种: 气管定时喷射式、低压缸内喷射式和高压缸内喷射式。

课后总结和习题

【相关链接】

1. 其他可再生汽车替代燃料的现状分析与展望

(1) 植物油燃料

植物油作为汽车替代燃料,通常与柴油混合制成生物柴油使用。表3-11给出了生物柴油和常规柴油的主要参数对比。



表3-11 生物柴油与常规柴油的参数对比

参数	夏季凝点 /℃	冬季凝点 /℃	密度 (20℃) / (g/ml)	动力黏度 (40℃) / (mm ² /s)	闪点 /℃	十六烷值	热值/ (MJ/ml)	硫含量 (%)	氧含量 (%)	空燃比 (质量比)
生物柴油	-10	-20	0.88	4~6	>100	>56	32	<0.001	10	12.5
常规柴油	0	-20	0.83	2~4	60	>49	35	<0.2	0	14.7

从表3-11中可以看出：生物柴油的闪点高，所以其安全性能较好；生物柴油的十六烷值也很高，经过酯化处理后十六烷值会更高，其着火性能可以达到常规柴油的水平；生物柴油约含有10%的氧，相比于常规柴油，生物柴油减少了可燃物质（C、H），增加了助燃物质（O），因此其低位热值相比于常规柴油略低，这使得燃油消耗率略有增加，但是生物柴油与常规柴油的热效率基本相同，同时氧的存在减少了HC和碳烟的排放。同其他替代燃料相同，目前植物油燃料应用于汽车还存在许多问题，如冷启动困难等。目前使用的植物油主要有麻疯树籽油、花生油、大豆油等，这些植物油的价格正在逐年攀升，有的价格甚至已经超过柴油，这使得生物柴油的成本过高，制约了植物油燃料作为汽车替代燃料的发展。

（2）生物质裂解气

我国是一个粮食生产大国，近年来在国家农业政策的推动下全国粮食产量稳步增长，与此同时农作物的秸秆产量也在不断增加。2013年我国农作物秸秆总量约为8亿吨，约占全球秸秆总量的20%。农作物秸秆在我国是十分丰富、绿色、可再生的宝贵资源，因此生物质裂解气有了可靠的来源。将秸秆等生物质固体燃料经过高温（>600℃）和缺氧处理后裂解成的可燃生物质气是一种经济、环保的能源，同时，其作为汽车替代能源的潜力也是十分巨大的。

生物质裂解气是一种比较清洁的燃料。生物质裂解气因其组成不同，理化特性会有所差别。生物质裂解气与汽油的主要参数对比如表3-12所示。

表3-12 生物质裂解气与汽油主要参数的对比

理化性能	生物质裂解气			汽油 C5~C12
	CO	H ₂	CH ₄	
体积分数 (%)	12~16	10~20	2~5	—
标准状况下的密度/ (g/L)	1.25	0.089	0.717	—
低热值/ (MJ/Nm ³)	11.78	10.065	33.4	60.52
辛烷值	—	35	100~130	84~96
着火温度/℃	650	585	540	39~47
火焰在标准状况下传播速度/ (cm/s)	30	265~325	37~45	39~47
理论空燃比 (质量比)	2.46	34.2	17.2	14.7

受其组成成分的限制，大部分生物质裂解气具有热值偏低（约为汽油的1/8~1/10）、火



焰传播速度慢、用于发动机时效率偏低等缺点。目前生物质裂解气应用于汽车行业的研究还处在起步阶段,且大部分集中在“生物质裂解燃气——柴油”双燃料发动机上。国内专门从事生物质裂解气发动机及汽车研究的专家比较少,这使得生物质裂解气发动机及汽车的研究进展缓慢,缺乏完善的理论指导。随着可再生的生物质能源被人们越来越重视,生物质裂解气也将会逐步成为汽车替代燃料。

2.几种替代燃料的比较

对车用替代燃料的主要要求为:洁净、价格合理、方便、技术成熟、效率高、易输配携带和资源丰富。因此有些燃料如煤粉、煤焦油等,未经特殊处理,不能作为洁净替代燃料使用。

现在考虑的几种替代燃料为甲醇、乙醇、LPG(液化石油气)、CNG(压缩天然气)、DME(二甲醚)和氢。下面从物理化学性质、能量特点、排放特点及经济性几个方面对几种替代燃料进行比较。

(1) 燃料的物理化学性质

按照燃料的状态,汽车替代燃料可分为气体替代燃料和液体替代燃料。现将上面提到的替代燃料的物理化学性质列入表3-13中,从表3-13中可以清楚地了解到几种替代燃料的有关情况。根据物理化学性质,可以了解各替代燃料相关混合气形成和燃烧特性。气体和醇类、醚类燃料的分子量比汽油、柴油小得多,这对燃料和空气的混合、燃烧、抑制碳烟有很大好处。醇类燃料含氧,虽然可以促进燃料燃烧更完全,但其热值下降。

表3-13 各种替代燃料的物理化学性质

项目	柴油	汽油	甲醇	乙醇	LPG	CNG	DME	气态氢	压缩氢
分子式	$C_{15}H_{28}$	C_7H_{15}	CH_4O	C_2H_6O	C_3H_8	CH_4	C_2H_6O	H_2	H_2
分子量	208	99	32	46	45	16	46	2	2
含碳量(%)	86.1	84.9	37.5	52.2	80.0	75.0	52.2	0	0
含氢量(%)	13.9	15.1	12.5	13.0	20.0	25.0	13.0	100	100
含氧量(%)	0	0	50.0	34.8	0	0	34.8	0	0
液态比重(%)	0.84	0.74	0.795	0.79	0.54	—	0.668	—	—
低热值(MJ/kg)	42.7	42.5	19.7	26.8	46.0	47.7	28.4	121	—
蒸发热(kJ/MJ)	6.0	8.0	56.4	33.8	8.6	—	14.4	—	—
CO_2 排放(g/MJ)	74.2	73.3	70.0	71.5	63.8	57.7	67.5	0	0

(2) 燃料的能量密度及其对汽车的影响

用能量密度的概念来评价燃料对汽车的影响是比较客观的。能量密度是指单位质量或单位容积的某种能源所能释放出来的能量,以容积为比较基准(容积能量密度 ρ_v , $MJ \cdot m^{-3}$)和以质量为比较基准(质量能量密度 ρ_m , $MJ \cdot kg^{-1}$)之分。表3-14列举了若干替代燃料、汽油及柴油的能量密度和能量密度系数。



表3-14 替代燃料、汽油及柴油的能量密度、能量密度系数

能源品种	被替代燃料的 能量密度 ρ_v	替代燃料 能量密度 ρ_{vn}	相对于汽油 的能量密度 系数 $\beta_{v汽}$	相对于柴油 的能量密度 系数 $\beta_{v柴}$	相对于汽油 的容积系数 $\gamma_{v汽}$	相对于柴油的 容积系数 $\gamma_{v柴}$
汽油	32.72		1	0.917	1	1.09
柴油	35.69		1.09	1	0.917	1
常态天然气		0.03567	0.0011	0.000999	927	1000.56
CNG (20MPa)		7.134	0.224	0.200	4.47	5.00
LNG		20.81	0.636	0.583	1.57	1.715
LPG		24.74	0.784	0.686	1.34	1.459
甲醇		16.01	0.489	0.449	2.04	2.229
乙醇		21.22	0.649	0.569	1.54	1.682
DME		18.77	0.574	0.526	1.74	4.901
常态氢		0.0102	0.000312	0.000286	3210	3499
压缩氢 (20MPa)		2.045	0.0625	0.0572	16	17.45

注： $\beta_{v汽}=\rho_{vn}/\rho_{v汽}$ ， $\beta_{v柴}=\rho_{vn}/\rho_{v柴}$ ， $\gamma_v=1/\beta_v$ 。

1) 能量密度对汽车续驶里程的影响

汽车应当具备必要的续驶里程，以保证足够的行驶半径。替代燃料的能量密度若比汽油（或柴油）小，则用同样大小的燃料容器，就不能保持原车的续驶里程；若欲保持原车的续驶里程，就需要填充更多的燃料、设置更大的燃料容器。

2) 能量密度对汽车有用空间与有效装载质量的影响

若替代让燃料的能量密度较小，欲保持原车的续驶里程，就会占据汽车更多的有用空间，并且不得不适当减小汽车的有效装载质量。

3) 能量密度对汽车总质量的影响

若替代燃料的能量密度较小，为保证原车续驶里程又不降低原车的装载，势必造成使用替代燃料的汽车总质量增加。即使适当（而不是过分）地减少行驶里程，对于微型小客车而言，采用某些替代燃料（如CNG、压缩氢等）仍几乎不可避免地会使汽车总质量增加，进而不同程度地影响汽车底盘重要部件的强度和刚度，而且影响汽车的通过性能。

从表3-14可以看出，常态NG和常态氢的容积系数分别为927和3210，这就意味着若用常态NG和常态氢去代替汽油，为了保持相同的行驶里程，燃料容器的容积必须等于原油箱的927倍和3210倍。这样的结果无论是从美观上考虑，还是从经济上考虑，或者从实用性考虑，显然都是不可能被接受的。

(3) 替代燃料的经济性

1) 天然气和液化石油气

使用天然气和液化石油气的汽车尾气较干净，是很好的洁净代用燃料，价格也便宜



(取决于政策)。但是压缩天然气CNG汽车的最大缺点是,除需输气管网外,建站费用也很高,约400~800万元人民币;高压储气罐大而重,受汽车空间限制,汽车续驶里程短。天然气可在 -162°C 液化,体积为气态的 $1/625$ 。使用液化天然气,续驶里程可以增加,建站费用也较低,但液化需耗能,只有利用气田的天然气自身高压膨胀才经济。

液化石油气LPG是由油田经烃回收或炼油厂生产,使用情况和天然气差不多。由于LPG在压力下以液态存储,体积较小,续驶里程较长(400km),储运较方便,建站费用较低(80~90万元人民币),价格也较低,使用上有经济效益。但是,在国内资源少,炼油厂裂化生产的LPG含烯烃较多(60%),不宜作车用,大量使用需进口。

2) 甲醇和乙醇

甲醇为液体燃料,其储运、分配、携带、使用都和传统的汽油、柴油差不多。由于原料资源多和燃料清洁,从20世纪60年代起,就受到许多国家重视,进行了大量研究开发。我国煤炭资源丰富,在产煤地区,由煤联产甲醇的成本(山西甲醇的供应价格为1200~1400元/吨)已基本可与汽油竞争。

由于乙醇燃料主要从农作物制取,属可再生能源,在生态循环中可减少大气中的 CO_2 和温室效应,受到许多国家的高度重视,可作为车辆的重要环保措施。我国现有乙醇生产能力500万吨,产量170万吨。乙醇作为燃料在汽车上使用的技术难度不大,但价格在4000~5000元/吨,是推广的重要障碍。

3) 氢能源

氢燃烧后只会生成水,而且自然界中氢的含量很大,可以说是一种不会枯竭的,最干净的燃料。氢能的优越性在20世纪70年代开始引起人们的广泛关注。90年代,氢能的研制与开发成为热门话题。国际氢能杂志上有文章指出:对比不同能源的综合效益,氢是1,天然气是0.6,石油是0.5,合成天然气也是0.5。由此综合经济成本和环境成本,可以判定氢能的燃料经济性是最好的。

目前,氢能开发中的重要课题是制取氢气的途径。氢作为燃料,储存很难,氢气必须加压降温置于5000kPa, -253°C 的容器内才能供汽车使用。即使是用最新隔热技术制成的低温罐,每天仍需排除2%体积的氢以降低由于温度升高而引起的蒸汽压力上升。行驶同样的里程,液态氢的成本是汽油的28倍。

【课堂活动】

- 1.引导学生对替代能源的感性认识。从替代能源的种类开始,包括使用现状、经济技术条件、对环境的影响等方面与传统燃料的区别,增强感性认识。
- 2.提问学生在生活中能用到哪种新能源,并有哪些可以作为汽车使用的替代能源。
- 3.讨论学生对替代能源的了解情况,例如说明不同类型的替代能源在汽车上的使用情况。
- 4.通过例证说明替代能源在使用过程中应该需要注意环节,明确教学任务。

【重点提示】

- 1.车用替代能源的种类较多,因能源的生产条件和使用条件等因素的影响替代能源还有较长一段时间才能够正式进入量产和应用。



2. 替代能源的生产以及燃烧能量密度等方面需要考虑与传统能源的效能比。

【本章小结】

本章重点掌握内容是替代能源与传统能源的效能比，重点理解替代能源是未来能源使用的发展趋势。

【本章习题】

1. 通过替代燃料之间能量密度比，说明替代能源应该具备哪些基本条件。
2. 替代燃料与传统燃料项目有哪些优势？
3. 举例说明使用替代燃料对发动机性能的影响。