

# 氢能作为农业能源的开发前景探析

徐 挺

(吉林工业大学)

**提 要** 本文从国内外开发利用氢能的发展趋势,探索了在我国作为农业能源之一的可能性与可行性。文中着重探讨了柴油机燃氢的理论与技术问题。通过分析认为,沼气与氢能将会成为我国 21 世纪农业能源的两大重要支柱。

**关键词** 农业能源 氢能开发 柴油机燃氢

## 一 前 言

国内外大量研究表明,世界能源现状已向人们提出严重警告:必须及早为 21 世纪能源的发展做好思想上、物质上、技术上的准备。

预计占世界所需能源 70% 的石油,到 1995 年为其发展峰值,随后会急剧下降。到 2010~2020 年前后,它将会下降占 20% 以下。煤虽是发展中国家占重要地位的能源资源,但由于储量有限且有一系列缺点,应用前景也并不乐观。专家们预测,21 世纪占能源重要地位的将是核能、太阳能、海洋能和地热能等的开发利用<sup>(1)</sup>。

随着 21 世纪核能、太阳能的大规模开发,作为其“二次能源”之一的氢能必将得到有效的开发应用。由于氢具有一系列优于石油、煤等特点,现已受到国内外专家们的普遍重视。他们或称氢能为 21 世纪的能源<sup>(2)</sup>;或预言未来取代石油资源的将是氢能源<sup>(3)</sup>;或推测在 2020 年,氢能“很可能成为能源研究、发展与论证的主要方面”<sup>(4)</sup>。更值得注意的是,目前国内外已经在氢能开发研究工作上,取得了十分可喜的进展<sup>(5)</sup>。发展形势告诉我们,尽快把氢能用于农业,作为一项农村新能源进行研究和应用开发,已经提到议事日程上来了。

近十几年来,我国已取得了举世瞩目的开发利用生物质能——沼气的成功经验,引起了国际社会的关注。沼气的蓬勃、深入、普及发展,使我国农村能源面貌发生了带有根本性的变化。沼气用作内燃机燃料,已达到在保持原机性能条件下节油的明显效果<sup>(6)</sup>。农用动力机械全烧沼气或沼气、柴油混烧取得成功的事实,给柴油机烧氢的可能性与可行性,以重要启迪与有力支持。柴油机烧沼气,与烧柴油一样,会造成对大气的污染。若改燃氢则可部分或全部避免对环境的不利影响。所以,我国未来的农业能源,沼气与氢能将是两大支柱。

## 二 氢能特点与储存形式

### (一)氢能特点

氢能与汽、柴油、沼气相比,有五大特点:

1. 燃烧热值高, 约达  $120\text{MJ}/\text{kg}$ , 而汽油和甲烷分别为  $44$  和  $2\text{MJ}/\text{kg}$ ;

2. 点火能量小 (约  $0.02\text{mJ}$ , 而汽油混合气为  $2\text{mJ}$ ), 燃烧速度快 (在常压空气中, 比汽油快  $5\sim 9$  倍), 所以只要氧化剂充分, 便可完全燃烧;

3. 燃烧后只形成水蒸汽和极少量的氮化物  $\text{NO}_x$  (主要是  $\text{NO}$ , 数量仅为一般车辆的  $1/200$ )。即使这极少的  $\text{NO}_x$ , 也可通过调整燃烧条件减少或避免;

4. 具有重要的工业价值。如, 用于  $\text{CH}_3\text{OH}$ 、 $\text{NH}_3$ 、 $\text{HCl}$  等的有机合成; 可对铁矿石中的金属进行直接还原, 取代焦炭; 城市煤气中含  $50\%$  的氢, 提高了热值和质量; 氢化铝锂、二氢化铝、偏二甲肼等用作火箭燃料或添加剂; 过氧化氢用作火箭燃料高能氧化剂;

5. 比重小 (仅为空气的  $1/7$ ), 扩散系数大, 即使从容器逸出, 也不致因沉积底层或形成密集气团而导致危险。

### (二) 氢的储存形式

氢虽然可以气相或液相形式储存, 但这两种形式均不可取。因为氢的密度小, 仅  $0.09\text{g}/\text{L}$ , 即使采取较大储存压力, 仍占很大空间。  $20^\circ\text{C}$  下, 用  $2000$  大气压将氢气压缩至钢瓶中, 容积  $16.2\text{L}$  的氢气也只相当于  $1\text{L}$  汽油的热值。以液态氢储存, 既需要  $-252.9^\circ\text{C}$  的超低温, 又需耗费很大制取能量, 还要使用很昂贵的容器。即便如此, 液氢的容积仍不小,  $3.9\text{L}$  液氢的低热值也只相当于  $1\text{L}$  汽油的热值。液氢也很容易泄漏。所以液氢, 非特殊需要是用不起的。尽管  $1982$ 、 $1984$  年日本、西德曾试验过将液氢用于汽车样机, 得到了热效率提高  $20\%$  的效果, 其价格却比用汽油高  $18$  倍以上。

目前储存氢的最有效方式, 是把氢以金属氢化物形式储于合金中<sup>(5, 7)</sup>, 称为 MH 法。这种储氢技术出现不过十余年, 但它一问世, 就受到人们高度重视。因为它有许多突出优点: (1) 它比高压气氢和液氢, 有高度安全性; (2) 含氢量大, 储存密度相当于液氢的  $2$  倍、常态氢的  $1000$  倍; (3) 氢在释放时, 纯度高达  $99.9999\%$ ; (4) 许多金属 (如  $\text{Ti}$ 、 $\text{Mn}$ 、 $\text{Mg}$ 、 $\text{Al}$ 、 $\text{Co}$ 、 $\text{Ce}$  等) 或合金 (如高温型的  $\text{Mg}_2\text{Ni}$ , 低温型的  $\text{FeTi}$ 、 $\text{LaNi}_5$  等) 均可利用自身同氢的可逆反应在特定的温度、压力条件下充氢、放氢; (5) 充放寿命长, 可达  $2\sim 3$  万次。初始成本虽高, 长远使用成本却较低廉。

目前我国南开大学无机化学系及北京有色金属研究总院等均在进行 MH 的研究, 后者还可提供现货。

MH 的唯一缺点是重量较大。但若在车辆设计中, 将其转化为附着重量, 前途相当可观。

## 三 内燃机燃氢的可能性与可行性

内燃机燃氢的设想, 早在  $1920$  年前后即已产生, 但真正把它加以认真地研究, 是在  $1964$  年氢能开发取得较大成果之后。自美国把氢作为“土星五号”登月火箭发动机燃料发射成功, 氢能才成为公认的燃料领域新物质。

柴油机和汽油机是车辆内燃机的两个重要分支, 它们在世界各国使用量很大。节能、燃料代用、减轻环境污染始终是其重要的研究课题。选择氢能作其燃料, 将是攻克该难题的有效途径之一。实现这一目标, 不但要根据各国国情, 采取可行的战略步骤, 而且要有效解决一系列技术难题。

### (一)汽油机燃氢的问题

国外,特别是发达国家,由于汽车拥有量很多,对环境影响之大,已构成严重社会问题。所以,十分重视汽油机燃氢的研究,美国、西德、日本、加拿大等都在开展这方面工作<sup>(8~14)</sup>,但多年来一直未获得突破性进展。

汽油机燃氢,各国主要研究的是采取氢—油混烧,之所以进展不大,分析原因是:

1.若在压缩过程中向缸内直接喷氢,由于汽油机压缩比 $\varepsilon$ 比较小,则与汽油混合时间较短,会出现异常燃烧现象,从而导致发动机热效率下降;

2.若氢气在缸外与汽油混合,因体积过多膨大,严重排挤了理应进入气缸的空气量,从而使过量空气系数 $\alpha$ 双重降低,则导致发动机有效功率明显减小;

3.即使在直接向缸内喷氢情况下,通过减少汽油吸入量使 $\alpha$ 值适当提高,喷氢量仍然有限,故而升功率也难以提高,甚至会下降。

### (二)柴油机燃氢的可能性与可行性

我国以及第三世界国家,汽车在各类车辆中占的比例较小,加之我国土地分散,广大农村用于耕作的拖拉机多为中、小马力,从而更促使柴油机数量增大,拥有量将会不断地增加。所以解决柴油机燃氢是我们的研究重点与需要。

从上述汽油机燃氢的种种问题分析,柴油机均可天然合理地解决。柴油机是压燃式点火,不存在点火系统,具有远高于汽油机的压缩比 $\varepsilon$ 和过量空气系数 $\alpha$ ,借助于高 $\varepsilon$ 、 $\alpha$ 值,氢的一系列优点可以得到充分发挥,所以很有可能加速研究进程,取得成功。当然,柴油机燃氢只能是采用柴油、氢混烧,不可能是纯粹燃氢,因为氢不易被压燃。

氢与柴油机结合,之所以能更快取得成功性进展还因为:

1.氢气点火能量小、自燃温度高(530~580℃),决定它在柴油机中与柴油配合能取得良好的燃烧效果:即在下死点后使氢先于柴油进入气缸,实现均匀分布,然后一待柴油压燃,便可将氢点燃,共同完成作功过程。(此时柴油喷入量可少于或等于掺氢前的。后者目的在于提高发动机功率)。

#### 2.热效率高

(1) 氢的扩散系数(0.61cm<sup>2</sup>/s)高于其他(例如汽油为0.05cm<sup>2</sup>/s),因而易于做到混合气均匀一致,再加燃烧速度(即火焰传播速度)很快(如最大可达3.1m/s,而汽油仅为1.2m/s),故可提高其热效率;

(2) 氢的绝热指数( $K$ )高于空气。空气的绝热指数 $K=1.40$ ,它与燃油混合后,指数值降低;混合气越浓,指数值越低。但它与氢混合,情况则大变,此时因 $K$ 值提高,热效率也提高。

3.氢在理论混合比下每单位容积的热值为3.16kJ/L,约为柴油的80%,故势必导致功率下降。与此同时,由于氢的绝热火焰温度高于其它,因此反过来又对所述功率下降作出部分的补偿。这一评价如再考虑到柴油机本身就有较大的过量空气系数 $\alpha$ 和较高的压缩比 $\varepsilon$ ,则功率不仅不致降低,还可在氢量增大情况下提高其功率(尽管按文献记载,为了充分发挥氢的环保优越性以最大限度地降低有害物质NO的生成量,过量空气系数应使之不小于1.5)。

4.氢、油混烧可节省柴油,从而使柴油燃烧产生的污染物HC、CO以及碳黑等减少。如果柴油机直接向缸内充氢,则既有可能提高其升功率,又可使每一单位功率所分担的污染

物数量减少。

5.由氢参与燃烧所带来的热效率提高,加上柴油机转速低、过量空气系数大,说明此时柴油机的排气温度可不致因压缩比较大而提高,从而可避免气缸系统过大热应力和氢因高热废气点火造成早燃、回火,以及由此引起的发动机运转失常,或严重时出现的停车现象。

6.柴油机烧氢同于汽油机,不会引起结构的重大变动;同时,由于氢燃烧后产生的微粒量仅为同等热值下燃油燃烧所生成微粒量的千分之一,发动机的使用寿命可因磨损情况改善而相应提高。

7.汽油机燃氢的某些基本过程和经历可借鉴于柴油机燃氢;

(1) 汽油机加氢后在一般负荷下热效率可提高10~15%,小负荷下则更为明显;

(2) 发动机经济稀混合气区域加宽(见表1),且因氢的少量加入,可实现稀薄混合气的快速燃烧,因而发动机经济性得以改善:平均比油耗降低20~30%。此外,在较稀限下,因气缸压力的循环波动减小,发动机工作变得柔和。

表1 点火界限燃料体积比(%)

气相 H <sub>2</sub>	甲 醇	天 然 气	汽 油
4~75 (即 $\alpha=0.15\sim 7$ )	7.3~36	5.3~15	1.2~6

根据苏联的经验,由于(1)、(2)所述原因,在混烧情况下可使汽油耗量降低25~40%。

(3) 加氢可降低怠转转速,同时还可使发动机在部分负荷下燃用较稀薄的混合气,这些都有助于降低在总使用期内的燃油消耗。

(4) 烧氢与烧汽油的成本比较(仅就燃料而言)<sup>[8]</sup>,显示出其巨大优越性(见表2)。

表2 燃料成本(美元/km)比较

气 相 H <sub>2</sub>	液 态 H <sub>2</sub>	汽 油
0.25 (1972)	0.30 (1972)	0.50 (1971)

实际上,氢作为燃料,不仅传统的柴油机和汽油机可考虑用它,由于它的重量密度大,发热量高,火焰传播速度快,点火能量小,所以还特别适合于工作状态经常改变的航空涡轮喷气式发动机的工作。同时,上述优点也使纯粹烧氢的“氢发动机”具有更大的功率和更好的扭矩、热效率指标以及燃料经济性。

为了在节油和环保前提下确实提高发动机的性能指标,搞出有别于国外同类研究的特色<sup>[15~18]</sup>,建议我们的主攻方向可首先确定为向柴油机缸内掺氢。这样,需要解决好下面两个问题:

1.氢源要有足够的压力以将氢气压入缸内。这方面高压钢瓶具有有利条件。当以MH作为氢源时,需视情况同时采取增压措施;

2.找到氢气压入缸内的合理时刻和稀限范围。例如,可否认为掺氢时刻以压缩冲程前半期为宜?因为:

(1) 氢气密度仅及空气的1/145,故在喷射中不易贯穿缸内空气全部,因此对于它同空气的均匀混合,需要有个过程;

(2) 柴油喷入时与空气混合的时间极短, 易于出现爆燃现象 (特别对于直接喷射式柴油机), 这时氢的提前喷入, 可不致加剧爆燃过程;

(3) 提早喷氢可降低对喷氢压力的要求, 从而有利于氢源的准备。

同时, 还可以考虑以表 1 所列值的 4% 作为柴油混合气稀限范围的低限, 然后在研究中逐次增大, 以进行各项性能指标的对比。

试验中, 面对发动机众多的结构、性能参数, 建议主要选择以下四种作为具体测值对象: 压缩比, 外载, 油、氢混合比和燃料供给时刻。对它们进行正交试验, 并以发动机功率和排放物作为试验指标, 寻找最优搭配方案; 也可按回归设计原理, 组织试验, 建立起具有较高预测精度的综合数学模型。温度、压力及发动机转速由于从属于以上四参数, 可不作为独立参数提出。

向柴油机缸内掺氢以及压缩比可变, 这会从技术上、结构上给研究工作带来一定的难度, 但这样做却是十分必要的, 因为这是向目前同类研究迈出的具有重要意义的新的一步, 也是建立起柴油机掺氢效果完整概念必不可少的。

## 四 结 语

探索研究开发氢能作为新的农业动力能源, 尽管有相当的难度, 而且与实际应用还有一定的距离, 但从科学技术的飞速发展来看, 已为期不远了。我们只有尽早做好理论与技术上的研究, 才有可能走在前面, 才能有效改变我国农村能源的现状。

在内燃机燃氢问题上, 我国一些高等院校, 如北方交通大学<sup>(19~21)</sup>、浙江大学<sup>(22)</sup>等, 已经做了许多有益的研究工作, 取得了不少的经验与成绩。实践表明, 今后只要各级能源部门与科技界、高等院校通力合作, 高度重视并安排好这项工作的开展, 我国一定会象开发利用沼气一样, 取得农业利用氢能的突破性进展。

## 参 考 文 献

- (1) 樱内雄二郎:《走向 21 世纪—科学技术的未来》, 电子工业出版社, 1988。
- (2) 吴仲华等:《从能源科学技术看能源危机的出路》, 知识出版社, 1980。
- (3) В.И. Хмыров и дру., Водородный двигатель, Из. «НАУКА» Казах. ССР, 1981。
- (4) I. Berkovitch, world Energy: Looking Ahead to 2000, IPC S.&T. Press, London, 1979。
- (5) 申拌文等:《氢与氢能》, 科学出版社, 1988。
- (6) 魏保太等:《能源工程》, 华中工学院出版社, 1985。
- (7) 虞心南: 国外贮氢材料研究及其应用, 《物理》, 1985, 7。
- (8) J.G.Finegold et al, The UCLA Hydrogen Car: Design, Construction, and Performance, SAE Paper 730507。
- (9) L.G. Olavson et al., Hydrogen Fuel for Underground Mining Machinery, SAE Paper 840233。
- (10) 古浜庄一、来华讲学稿: 吉林工业大学译, 1985。
- (11) Hydrogen Drive for Road Vehicles, 《Research and Development Work at Daimler-Benz AG》, 1984。

- (12) D.Davidson et al., Development of a Hydrogen-Fuelled Farm Tractor, Proc. of the 5th WHEC, 1984.
- (13) J.S. Wallace et al., Lean Mixture Operation of Hydrogen-Fueled Spark Ignition Engines, SAE Paper 852119.
- (14) Jun Hama et al., Hydrogen-Powered Vehicle with Metal Hydride Storage and D.I.S. Engine System, SAE Paper 880036.
- (15) H.S. Homan et al., Hydrogen-Fueled Diesel Engine Without Timed Ignition, Int.J. Hydrogen Energy, Vol.4, 1979.
- (16) M. Ikegami et al., A Study of Hydrogen Fuelled Compression Ignition Engines, Int. J. Hydrogen Energy, Vol.7, No.4, 1982.
- (17) Takao Fukuma et al., Hydrogen Combustion Study in Direct Injection Hot Surface Ignition Engine, SAE Paper 861579.
- (18) Wang Weigang et al., The Research Internal Combustion Engine with the Mixed Fuel of Diesel and Hydrogen, Proc. of the WHEC, Beijing, 1985.
- (19) 李厚生等:《汽油—氢发动机燃烧规律的研究》, 第四届燃烧专业委员会年会, 1988。
- (20) 李厚生等: 汽油机添加氢改善排放特性的研究, 《内燃机学报》1987年第3期。
- (21) 李厚生等:《汽油机添加氢改善经济性的研究》, 天津大学90周年校庆学术讨论会。
- (22) 李经定等: 汽油—氢混合燃料燃烧的试验研究, 《汽车工程》1984年第2期。

## Initial Exploring for the Prospect of Hydrogen Energy as an Agricultural Energy Resources

Xu Ting

(Jilin University of Technology)

### Abstract

By analysing the trend of hydrogen energy development at home and abroad, this paper explores the possibility and feasibility of the hydrogen energy as a kind of agricultural energy resources in China. It discusses specially the problems of the theory and technicality for diesel burning hydrogen. Through analysing, the conclusion is given, that mash gas and hydrogen are the two important pillars of the agricultural energy resources in the 21st century in our country.

**Key words** Agricultural energy Hydrogen energy development Hydrogen burning diesel engine.