

我国能源建设新构想*

张秉宏

(中国石油技术开发公司 北京 100009)

摘要 能源危机以及由于大量燃烧碳及烃类引起的环境问题,正在对现代社会构成越来越大的威胁。本文根据我国的资源实际,提出了发展液氨(LSA)燃料的设想,并与烃燃料和氢能源进行了比较。同时,对发展 LSA 燃料与推广洁净煤技术的结合进行了探讨。

关键词 化石燃料,替代能源,LSA,氢能源,洁净煤技术



张秉宏高级经济师

1 我国的能源安全及环境问题

1.1 全球能源消费引起的资源和环境问题

以化石燃料为主与新能源、可再生能源并存是当前能源的主要格局。在化石能源中,煤在相当长的时期内一直占据着主导地位,甚至目前煤仍

然是世界上一些国家的主要能源。之所以近些年来石油问题越来越受到人们的关注,原因是随着社会的发展和人类的进步,人们的活动越来越频繁,活动半径也越来越大,因而能够储存和便于携带的能源对人类而言变得越来越重要。就目前而言,能够满足上述要求的最佳能源形式是石油。在全球范围内,车辆消耗了 85%以上的石油资源,社会的行为方式已经适应了石油。然而,石油作为不可再生的能源,其储量已非常有限。以目前全球探明石油储量 10 477 亿桶和产量 280 亿桶/年计算,石油的储采比是 37 年(有专家认为,储采比应是 27 年,原因是欧佩克的可信石油储量是 5 190 亿桶,而不是资料中显示的 8 190 亿桶)。事实上,高点(即石油开采

的峰值,按照休伯特曲线,此后石油产量将逐年下降)之后即意味着能源危机的出现。

另一方面,全球范围大量使用化石燃料,使得大气中二氧化碳的含量增加,这种现状如果继续下去,将会对全球环境及气候造成很大影响。特别是近些年来温室效应、大气烟雾、酸雨等气候和环境问题频频发生,形势更加紧迫。

显然,化石能源,尤其是石油已经与现代社会行为方式密切相关。石油能源危机,更深层次是人类生活方式所面临的危机。能源危机以及由于大量燃烧碳及烃类引起的环境问题,正在对现代社会构成越来越大的威胁,积极寻求新的替代能源和改善环境已为越来越多的国家所认同。

1.2 替代能源

目前,全球的能源技术已经处在一场革命的前夕,氢能源、高效电池和贮氢材料的研究如火如荼。发展氢能源最大的问题是氢的制备技术和储存技术还不成熟。由于氢主要以化合物的方式存在,目前尚未找到廉价的提取方法,另外,氢易爆且不便储存,储运成本高,因此氢被称作是“未来的燃料”。

除氢燃料电池外,业已面世或开拓中的新型运输代用燃料主要有:醇类(甲醇和乙醇)、生物柴油、二甲醚(DME)、天然气合成油等。

1.3 对我国能源安全及环境问题的忧虑

我国在能源领域过度依赖化石燃料,从而对资

* 收稿日期:2004 年 11 月 5 日



源的可持续供应造成压力。同时,我国人均油气可采储量远低于世界平均水平,2000 年人均石油可采储量 2.6 吨,人均天然气可采储量 1 074 立方米,折合原油 0.87 吨,分别为世界平均值的 11.1%和 4.3%。2003 年我国石油对外依存度已达 36.1%。随着经济发展和国家财力的增强,资源约束将替代资本约束并逐步上升为经济发展中的主要矛盾,甚至成为伴随工业化、现代化全过程的一个重大问题。

另一方面,我国是少数以煤炭为主要能源的国家之一,也是最大的煤炭消费国。我国的能源赋存特点是多煤少油,在全国已探明化石能源储量中,石油和天然气仅占 6%,其余 94%均为煤炭。2002 年国土资源部《全国矿产资源储量通报》中公布的煤炭资源储量数据显示:我国煤炭资源量 6 860.62 亿吨,基础储量 3 340.88 亿吨,储量 1 891.22 亿吨,人均占有储量 145 吨。以目前的产量,还可开采 100 年以上。

环境方面,我国 CO_2 排放量较高,且呈增长趋势。同时,我国也是世界上单位 GDP 能源消费强度最高的国家之一,1990 年的 CO_2 排放强度为 1.56kg-C/美元,为世界平均水平 0.24kg-C/美元的 6.5 倍,日本的 16 倍。

可以看出,我国能源危机主要是能源结构的危机,更深层次是现代社会行为方式可能受到影响的危机,以及在环境方面面临的巨大压力。尽管我国政府已经予以高度重视并采取了包括石油安全战略和发展替代能源等的一系列相关措施,但是我们还必须看到:石油安全措施对能源问题只能起到一定的缓解作用,并且对解决环境问题作用不大;已开发的替代燃料缓解能源问题的作用还非常有限。

2 替代能源新构想

长期以来,人们一直在探求开发一种可以清洁燃烧的、不含碳的、可工业化生产的化学品来代替有污染的化石燃料。近年来石油资源的趋紧和石油价格的不断攀升以及不断加剧的环境问题,进一步彰显了能源问题的严峻性和紧迫性。众所周知,在我们赖以生存的这颗地球上,最普遍的物质无疑是空气和水,从空气和水中提取燃料也就成了人类长

久以来的期望。空气和水中的主要元素有氮、氢、氧等,换句话说,从空气和水中可能提取的燃料主要由氮、氢、氧等元素构成,譬如氢(H_2)、氨(NH_3)、肼(H_2NNH_2 ,也称联氨)等。氢和肼的储存和使用技术上还不完善,虽然近年来人们对氢能源关注较多,如前所述,氢能源的开发还存在诸多问题。

正是基于上述原因,解决我国的能源问题,还需另辟蹊径。事实上,有一种现成的替代方案——使用液氨(liquid synthetic ammonia,简称 LSA)燃料。LSA 来源丰富、合成和使用技术成熟。LSA 也是一种非污染产品,其燃烧产物为水和氮气,而氮气是大气的主要组分。

2.1 LSA 燃烧性能

氨在常温时为无色刺激性气体,在环境温度下很难点燃,通常列入不易燃烧的类型。氨在常压下即可冷却液化(正常沸点 240K),或在环境温度下加压液化(约 10atm),采用钢瓶、管道和储罐等多种方式以液态储存和运输。氨在工业上是各种含氮化合物的原料,还可用作制冷剂,但最多的是用于生产氮肥。

LSA 作为燃料最大的问题是燃烧速度太慢。试验表明 LSA 气体中氢气含量达到 1.25%—2.5%时,LSA 气体的燃烧较理想。因而,可以通过催化使其部分分解以使氢气含量达到要求从而提高 LSA 的燃烧速度。另外,还可通过改变燃烧方式或加入不会对环境造成不利影响的化学添加剂等,改进 LSA 的燃烧性能。

2.2 LSA 的合成

LSA 是化学工业中产量最大的产品之一。目前全球 LSA 的产能超过 1.6 亿吨,我国为 4 160 万吨。合成 LSA 的主要原料是空气和天然气(或渣油或煤等),我国目前合成 LSA 的原料组成中天然气、渣油和煤的比例大致为 14%、22%和 64%。LSA 的合成有多种工艺,以煤为原料时合成气制备工艺主要有壳牌(Shell)粉煤气流化床加压气化技术和德士古(Texaco)水煤混合料浆加压气化技术等。20 世纪 90 年代发展趋向大型化,目前全球最大单一合成氨设备规模已达 130 万吨/年。



以烃类为原料合成 LSA, 与其说是取其氢原子, 不如说是获取热量。换句话说, 使用其它形式的能源, 如电能, 直接用空气合成 LSA, 或用电解氢合成 LSA 理论上都是可行的。以天然气、渣油和煤为原料合成 LSA 的过程中会产生 CO_2 , 这样制得的 LSA 称为棕色 LSA。如果原料用电解氢, 则 LSA 合成将大大简化。在此情况下, 反应用原料氮通过空气液化和分馏制得, 氢和氮经混合后直接进入催化合成塔, 如果所用电解氢为绿色氢, 则由此制得的 LSA 称为绿色 LSA。

2.3 LSA 发动机设计及性能

有试验表明^①: LSA 可以作为燃料用于内燃机 (IC)、压燃机 (CI) 和风机, 所得数据与热力学计算结果十分接近。在对燃料系统稍作改进后, 使用 LSA 燃料就能得到令人满意的结果。为了提高燃烧速度和保证燃烧完全, 在标准点燃式发动机和压燃型发动机上, 可使进入汽缸的 LSA 蒸汽先通过一个催化剂室, 使 LSA 在喷射前部分分解以达到要求的氢含量。催化剂室可用发动机排出气来加热, 启动时可采用电加热。另外, 对于压燃型发动机, 还可以通过增加一个燃料喷头喷入导液 (如柴油) 来实现点火, 从而使 LSA 适用于高速直喷式柴油发动机。

在标准点燃式发动机上使用 LSA 蒸汽燃料时, 实验测得 LSA 的辛烷值^②为 111, 最大功率为异辛烷的 75%, 理论输出功率略优于汽油。压缩比为 10 时, LSA 的最小比燃耗 (SFC)^③为 $0.84\text{lb hp}^{-1}\text{h}^{-1}$ 。标准发动机使用 LSA 燃料时无需改进, 即可避免发动机磨损或燃料污染, 但由于 LSA 会腐蚀铜, 所以在 LSA 发动机系统一定要避免使用铜。LSA 用于汽轮机时, 测得比燃耗是柴油的 2.24 倍, 相同的

汽轮机入口温度下, LSA 的功率约比柴油高 10%。

试验和热力学分析显示: 通过对发动机进行微小的改动, LSA 可以代替汽油或柴油用于车辆, 并且动力和效率与烃燃料很接近, 但燃料消耗体积数相对较大。

2.4 LSA 作为替代燃料的优点

(1) LSA 是一种无污染燃料, 燃烧后的产物只有水和氮, 同时, 由于 LSA 极易溶于水, 所以不会成为另一种潜在的温室气体。

(2) 从能量及储能密度来看, 单位体积 LSA 的热值是液态氢的 1.3 倍, 压缩氢气 (300K, 170atm) 的 6.6 倍, 能量储存于 LSA 的成本大致是储存于液态氢的一半。因此, 有可能未来的燃料生产始于气态电解氢, 而储存介质使用 LSA, 换句话说, 即使到了氢能源时代, LSA 也有一定的应用前景。

(3) 从成本和早期使用的角度, LSA 与氢相比具有很大的优势。目前的发动机和能源设施在使用 LSA 燃料时无需进行大的改变, 从而为 LSA 燃料的推广应用提供了便利条件。

(4) LSA 作为大规模生产的化工产品之一, 产量较大且装置扩能较易。相对而言, 氢的分离制备要困难得多。

(5) 在安全性方面, LSA 在空气中的最低着火限比氢和烃燃料要高得多, 当不慎泄漏时, 着火的危险性较小。并且人们对于大气中所含 LSA 的有感浓度很低, 可以及早发现。尤其重要的是, 人们在 LSA 的生产、储存和运输等方面已经积累了丰富的经验, 并已形成规范。

3 我国发展 LSA 燃料的优势及政策建议

3.1 我国发展 LSA 燃料的优势

我国矿物能源以煤为主, 大力发展洁净煤技术, 高效清洁地利用我国煤炭资源, 对于促进能源与环境协调发展, 满足国民经济快速稳定发展需求, 具有极其重要的战略意义。同时, 洁净煤技术的推广应用还可以降低氮肥的生产成本和促进农业的发展, 并且还可以在很大程度上促进中西部地区的经济发展和环境改善。

洁净煤技术在全国范围内的大面积推广应用,

① 资料来源: Desoky A A, Halaf A S K, El-Mahallawy F M. Combustion Process in A Gas Turbine Combustor when Using H_2 , NH_3 and LPG Fuels. Hydrogen Energy, 1990, 15 (3): 203-211

② 辛烷值 (octane number): 表示汽油在汽油机中燃烧时的抗爆性的指标

③ 比燃耗 (specific fuel consumption): 内燃机每小时每功率单位的燃料消耗量, 是表示内燃机效率的一个重要参数



为发展 LSA 燃料提供了良好的机遇,同时,LSA 燃料的推广应用,又将促进洁净煤技术的发展,使洁净煤技术的内容更加丰富。目前,国内以石油为原料合成的 LSA 售价在 2 000 元/吨左右,以煤为原料合成 LSA 的成本更低,这也是国内许多氮肥厂由“油头”改“煤头”的主要原因。显然,按当前价格 LSA 燃料具有与汽柴油燃料可比拟的经济效益,并且随着洁净煤技术的推广应用和 LSA 产量的扩大,LSA 的成本有望进一步降低。与氢燃料相比,LSA 有着很大的价格优势,其价格效率也高于氢。

3.2 政策建议

随着石油需求的增长速度超过产能的增加,使得高油价成为一种长期趋势。LSA 作为潜在的新能源,可以有效地降低人们对油气的依赖和提升能源安全,应用前景广阔。如上所述,LSA 的开发应用应当与洁净煤技术紧密地联系起来,如何实施新能源计划,也应该与煤炭、电力和煤化工等相关行业的改革与发展结合起来。

LSA 的开发及推广应用需要公众的认同和国家政策的扶持,更需要大型能源企业的支撑。我国煤炭行业目前的这种分散布局,既不利于参与国内外市场竞争,也不利于长远发展,应当加快现代企业的建设步伐,提高产业的集中度和推进产业升级,实施集约化经营战略。通过改组、联合、兼并、参股、控股等多种途径组建为两到三个新的能源集团。新的能源集团应包括国内主要的大型煤炭企业、火力发电厂和煤化工企业等,从而组成真正意义上的上下游一体化的大型能源集团。

(1)与国内大型火力发电厂合并,煤电结合,从一次能源向二次能源转化,变“输煤”为“输电”。提高煤炭资源的利用效率,避免煤电之争,同时,也有利于限制并最终取缔煤炭资源的乱采滥挖。

(2)与国内大型煤化工企业(包括以煤为原料的氮肥企业)合并,推进煤的气化和液化,延长煤化工的产业链。煤化工项目一般投资较大,我国煤炭企业多年来效益低下,因而单纯依靠煤炭企业自身

的积累发展煤化工,存在一定的难度。而化工企业在利用合成气合成 LSA、甲醇等方面具有显著的人才、技术和设备优势,并且,随着 LSA 燃料的推广应用,LSA 可以直接作为燃料商品销售,从而可以极大地推动煤化工的发展。

总之,新的能源集团是集煤炭上下游、内外贸、产销一体化,按照现代企业制度运作,跨地区、跨行业、跨所有制和跨国经营的特大型能源集团。简单地说,新的能源集团主要从事煤炭资源的综合开发和利用,主要产品为输出电力、LSA 及其它气液体燃料、化肥和其它化工产品等,原煤作为商品销售将逐步减少。

4 结语

尽管 LSA 与氢能源一样,主要是解决能源的储存及便于携带的问题,但在现阶段 LSA 与氢能源比较更现实、技术上更成熟、也更符合我国的国情。LSA 的推广应用,可以在保持人们现有社会行为模式不变的前提下,减小对石油的依赖,使发动机和燃烧器的燃烧更清洁、效率更高。同时,发展 LSA 燃料有利于发挥我国资源优势 and 进行煤炭资源的合理高效开发,并且通过与推广洁净煤技术有机地结合,可以综合解决国内,尤其是西部地区能源、环境和农业发展的问题。因此,应当从能源战略安全和促进我国经济发展的高度对 LSA 燃料的开发和推广应用予以重视。

主要参考文献

- 1 中国新能源与可再生能源 1999 白皮书. 北京: 中国计划出版社,2000.
- 2 陈军,陶占良. 能源化学. 北京: 化学工业出版社、化学与应用化学出版中心,2004.
- 3 Kreetz H, Lovegrove K. Exergy Analysis of An Ammonia Synthesis Reactor in A Solar Thermochemical Power System. Solar Energy, 2002, 73(3): 187-194.
- 4 Avery W H. A Role for Ammonia in the Hydrogen Economy. Hydrogen Energy, 1988, 13(12): 761-773.

(转至 415 页)