

二甲醚经济是解决中国能源与环境问题的关键选择

DME Economy Is a Key Option of Solving China's Energy and Environment Problems

倪维斗¹ 靳 晖² 李 政³ 郑洪波⁴

(清华大学,中国工程院院士¹;硕士生²;教授³;博士生⁴ 北京 100084)

一、时不我待,发展清洁能源 技术迫在眉睫

中国的经济要在 30 年内保持高速发展,中国的人口将在 30 年后达到顶峰,中国的石油将越来越依靠进口,中国的环境随着经济的发展仍然在不断恶化,由上述情况引起的中国的资源环境与人口增长、经济发展之间的矛盾,在 21 世纪的前 30 年内,将是对整个中华民族的最为严峻的挑战。一旦可持续发展的问题在此之前没有解决,整个国家的资源和环境系统将要造成很难逆转的严重后果;而中国的环境问题,在很大程度上取决于能源的利用。发展可靠的清洁能源,是一个十分紧迫的战略任务。

人们直接使用的汽油、柴油、电能、甲醇、氢气等等终端能源,都属于一种能源载体,而能源载体必须由一次能源资源,如原煤、原油、天然气、太阳能、水能、风能等等转换而来。而清洁能源,就是将较“肮脏”的自然资源(如原油、煤炭等)转换成对环境危害很小的清洁能源载体,来作为燃料和动力。

可靠的清洁能源,必须具备如下几个特征:资源丰富,可以基本立足于中国国内的能源资源;环境友好,其排放物对环境的影响很小;技术可行,其技术基本成熟,或作适当努力可在 5 年左右成熟,可以在大范围内使用,即在总体能源平衡中占相当的份额;经济可行,其成本要有竞争力,可以逐步占据能源市场,形成相当的经济规模;易于实现,其运行所需的基础设施和现有的基础设施能基本相容,不需要完全另搞一套。

当前,中国的能源以煤炭和石油为主,天然气的产量近年来有很大的增长。煤炭直接燃烧,所排放的大量硫化物、氮氧化物、烟尘和二氧化碳,是中国目前的主要污染源;石油炼制的油品虽然比煤清洁,但是中国石油资源已经不可能满足需求,品质也逐渐降低,含硫量不断升高,给炼制高质量汽油、

柴油也带来很大困难。2000 年中国净进口原油 7 000 万吨,成品油 2 000 万吨,接近需求总量的 30%,除了耗费大量外汇外,也为中国的能源安全问题敲响了警钟。

鉴于中国的国情是:煤炭资源丰富;油气资源相当有限;天然气和煤层气的资源分布较分散,距用能中心较远,且目前的管网系统很不发达;几十年内可再生能源在总体能源中不可能占很大份额。因此,如何合理利用中国的能源资源尤其是煤炭资源、寻找新型的清洁能源载体已经迫在眉睫。

有人说,氢能是零排放的能源,氢气燃烧只产生水,没有任何污染,因此氢能是解决未来能源与环境问题的最佳途径。这是完全对的。我们应该重视发展“氢能经济”。然而,由于一系列技术难题,这一前景在近 20~30 年内仅是可望而不可及的。

在中国最重要的近 30 年时间里,迫切需要的是一种技术成熟、经济性好,既可大规模运用,排污又较小(介于石油天然气和氢能之间),环境可以承受的燃料,这就是二甲醚。

二、二甲醚(DME)脱颖而出,大有可为

1. 什么是二甲醚(DME, Dimethyl Ether)

DEM 是一种无色、无毒、环境友好的化合物,到目前为止它的生产量不大,只是用于发胶。被作为环境友好的燃料只是近几年才提出的,但却立即得到全世界能源界的广泛关注,其分子式是 CH_3OCH_3 ,物理性能和液化石油气(LPG,一般是丙烷和丁烷的混合物)相似。其在较低压力(5.1bar)下呈液态,故现有的液化石油气的基础设施完全可以用于 DME。也可以用油槽、油罐车,及低压管道,作长途运输。由于含氧量为 35%,热值较低,相当于乙醇,是 LPG 的 61%、柴油的 67%、汽油的 2/3。

2. DME 的制备

DME 可以用天然气和煤作为原料来生产,对中国来说,由于煤储藏量十分丰富,以煤得到 DME 是

主要途径。

途径一,是由甲醇脱水得到 DME。煤氧吹气化以后得到合成气,其主要组分是 $\text{CO} + \text{H}_2$; 通过催化合成 $\text{CO} + 2\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{OH}$ (甲醇); 甲醇脱水 $2\text{CH}_3\text{OH} \rightarrow \text{CH}_3\text{OCH}_3$ (二甲醚)。

途径二,是通过相应的催化剂,在浆态床反应器中直接由合成气转换成二甲醚。

$\text{CO} + 2\text{H}_2 \xrightarrow{\text{a}} \text{CH}_3\text{OH}$ ———— 甲醇生产

$\text{CO}_2 + 3\text{H}_2 \xrightarrow{\text{a}} \text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O}$ ———— 甲醇生产

$\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{a}} \text{CO}_2 + \text{H}_2$

$2\text{CH}_3\text{OH} \xrightarrow{\text{b}} \text{DME} + \text{H}_2\text{O}$ ———— 二甲醚生产

按目前的工艺,大抵是 2.5 吨煤可以合成 1 吨 DME,表面上看似“损失”很多能量,在反应过程中得到很多热量;如优化利用的话,在能量转换方面还有提高的潜力。

制备 DME 的原料有很多来源:煤、天然气、石油炼制中的渣油、石油焦、生物质或其他碳氢化合物等都可以作为其原料。由于在制备过程中都要经过合成气这一步,所以可以采取以“一步法”浆态床反应器为核心的多联产系统,使生产 DME 设备的基本投资、单位能量的成本、能耗大幅度下降。

3. DME 的用途

(1) 用于生活炊事、采暖 经大量测试,用 DME 替代 LPG(液化石油气)在排放和燃烧效率方面都优于后者,只要价格有竞争力,大量的替代是比较容易的,因为 LPG 的原有基础设施可以完全用于 DME。DME 的应用对一些边远地区尤为重要,例如西北干燥地区、南疆地区、滇西北地区,那里的居民世代皆以木柴为生活燃料,大量砍伐森林的现象司空见惯。有了价格合理的 DME 后,既可保护生态、改善环境,又可大大提高当地居民的生活质量。

(2) 用作燃气轮机的燃料 经过 BP(British Petroleum) 和 GE(General Electric) 公司合作的严格测试证明, DME 用于燃气轮机是一种极好的燃料,燃烧性能和排放性能近似于天然气,优于柴油,此项目应用现已在世界上逐步推广。例如,印度南方的 4 个州(Andhra - Pradesh, Tamil Nadu, Kerala 和 Karnataka) 已和 BP 公司签订合同,共建 7 个电厂,总装机容量为 248MW,准备以 DME 为燃料发电,年消耗 DME 4.8 万吨。

(3) 作为分布式电热冷联供系统的燃料 例如可用于微型燃气轮机(Microturbine)的发电,其余气可排入余热锅炉,用于供热或供冷。分布式电热冷联供是当前世界上迅速发展的领域,可提高能源利用率和可靠性。这一技术正与迅速发展的 Internet 网络技术紧密结合,把大量的分布式装置组成一个虚拟电厂。

(4) 替代柴油 这是一个最重要的领域,因为柴油是中国油品中用量最大,也是目前缺口最大的

燃料。目前的柴油机已难以满足环保要求,尤其是城市环境的要求。其出路除了柴油机缸内过程的改进外,用超清洁替代燃料是一个重要方向,也是不可逆转的趋势。可从不同原料(如石油、煤、生物质原料、渣油或石油焦)生产出的 DME 或甲醇,将使中国液体燃料经济在以石油为基础的燃料和由其它超清洁燃料代用之间有一个稳定、安全和经济可靠的平衡。这种做法不仅可以适合近期、中期、远期的市场需求,同时对环境的不利影响最小。

以超清洁燃料取代柴油是个世界性的课题,对中国尤其具有挑战性和迫切性,同时,对中国能否在超清洁燃料方面进入世界前列,也是一个机遇。

众所周知,柴油机循环(压燃式)比汽油机循环(火花点燃式)的热效率要高 7~9 个百分点。从燃料更有效利用角度来看,应该是更多的汽车(包括轿车)利用柴油机来作为动力。若我们能把数目还要大大增加的轿车中的 30%~50% 以柴油机作动力,就可以大幅度节省燃油,使同样功率的轿车燃油耗油减少 25% 左右。这相当于减少同样数量级温室气体 CO_2 的排放,是一条极重要的有环境效益和经济效益的途径。但是,随着近年来环保标准的不断提高,柴油机的发展受到了两个相互矛盾的制约,若提高循环最高温度以提高效率,就会使 NO_x 大幅度增加;若相反,降低循环最高温度,在 NO_x 排放率降低的同时,就会使微颗粒($\text{PM}_{2.5} \sim 10$)增加。所以对柴油机循环来说,是否可以找到一种燃料,同时能提高效率并大幅度降低 NO_x 和微颗粒的排放,就十分关键。而这种燃料就是 DME。目前大城市(尤其是北京)微颗粒是引起空气质量降低的主要原因,故用 DME 更有重要的紧迫的意义。

柴油机用 DME 作替代燃料后,通过西安交大详细测试有以下优点:同样的发动机功率可提高 16%,热效率提高 2~3 个百分点;所有工况下基本做到无烟运行,即无可见微颗粒排放; NO_x 排放是燃用柴油的 60% 以下(气缸中燃烧温度低);HC/CO 的排放亦下降 40% 左右;气缸中最高压力下降 7~9MPa,气缸中的压力升高率也相应降低,从 0.6MPa/°CA(度·曲轴转角)下降到 0.28~0.47MPa/°CA,从而使工作时噪音下降 10~15 分贝,对气缸的强度要求也相应降低;替代后,能满足欧 II 标准,并有进一步降低排放满足欧 II 标准的潜力。

(5) 作为高附加值化工产品的中间原料,如可用于生产醋酸 acetic acid(CH_3COOH)。

上面 5 点用途中,对中国来说,以(1)和(4)两点最为重要。DME 相对甲醇来说,其突出优点是无毒性和无腐蚀性,对发动机和燃油系统的密封、垫片材料以及金属的不利影响要小得多。

4. DME 是中国能源系统实现跨越式发展的重

要内容

DME 燃料对于中国未来能源战略的重要意义,不仅仅在于它的资源优势 and 环保特性,可以在保证我国能源安全的同时,将环境危害降到极低;还应是中国未来能源技术赶超世界先进水平、跨越式发展的最有前途的领域。

中国目前能源与环境的研究水平和实际工作很有可能使中国的能源行业进入一个误区:环保立法总比欧美晚一步,国内的能源相关行业特别是汽车工业往往成为国外淘汰技术的转移地。西欧早已通过了十分严格的欧 II 标准,正在酝酿欧 IV,美国的国内标准也与之类似,而中国目前的标准仅仅相当于欧美早已制定的欧 I 标准,始终晚一步。中国的能源工业技术水平普遍比国外落后,特别是汽车工业落后 10~20 年,要在短时间内赶上国外水平很困难,且自主开发能力不强,提高技术水平很大程度上依赖引进,而国外则完全可以将他们已经淘汰而在中国尚且先进的技术转移到中国。这类引进实质上阻碍了国内自主开发的能力,很可能使得中国的能源行业长期无法摆脱对国外的依赖。

中国科技开发的总体思路是“有所为,有所不为”,而 DME 正是这样一个大有可为的领域。它是各国竞相研究的热点,也是中国能源技术未来发展最有希望的一个方向。尤为重要的是,目前各国对 DME 的生产和应用研究都处于起步阶段。中国的研究也毫不逊色。中科院山西煤化所在两步法和一步法制 DME 领域都有相当成果,西安交大对于 DME 在柴油机上的燃烧试验也得到了不错的结果。目前,世界上基本掌握浆态床一步法制取 DME 技术的公司有美国的空气产品公司 (APC),但是他们也没有大规模生产的经验。我国宁夏的 83 万吨 DME 生产项目要引进的就是 APC 的技术,这个项目在世界上都算得上是开创性的工作。另外西安交大等高校和研究单位也在积极申请立项,力图在较短时间内解决 DME 在内燃机中的应用问题,有望得到国家 973 计划的大力支持。

三、创建 DME 经济 ——中国能源的重要支柱之一

DME 作为燃料,包括它的生产、运输、使用等一系列环节的产业化,可望在二三十年时间内,形成一个庞大而高效的 DME 经济,成为中国能源经济的支柱。中国可以有这样的构想:在未来的几十年时间里,利用“肮脏”的煤炭一步法制成 DME;利用比较分散的天然气资源合成 DME,以免除昂贵的管道网络;在老矿区大力发展 DME 的生产,并和电力生产结合在一起,实现联产;将西部丰富的煤炭资源,尤其是高硫煤,转化为干净的 DME 燃料和电力,用

油槽车和罐车运输到资源贫乏的地区。而且,在能源利用的各个方面,DME 都可以有用武之地:马路上跑的是干净的 DME 公共汽车和 DME 轿车、卡车;家里灶具、热水器用的是便宜的瓶装 DME 燃料;电厂大型燃气轮机和民用小型发电机用的也是运输方便的 DME 气体;在没有天然气供应的城市里的供暖锅炉和各种高楼的中央空调都是烧的 DME。大规模地生产和高效利用 DME,完全符合中国西部大开发和经济、环境协调发展的战略。

DME 还是一种高附加值的产品。若在煤炭丰富的地区大规模工业化生产,可以将老矿区的经济盘活,可以充分利用西部丰富的煤炭资源,增加人民的收入,提高人们的生活质量。

DME 技术的使用,还可以带动中国新一代汽车工业、电力工业和民用燃料工业的发展。如前所述,如果我们在 DME 内燃机技术上集中精力早日实现突破,就可以跳出汽车工业严重依赖国外技术的圈子,取得自己的优势,创立自己的品牌。而汽车、电力等工业,作为国民经济中极其重要的部门,早日在技术上实现自立、在经济上获得领先,对中国经济的全面发展具有不可低估的作用。

中国大力发展 DME,已有相当大的现实基础,今后实际运作大体上可以分为 3 个步骤。

1. 近 5 年内有 500~1 000 万吨 DME 的需求,应以居民用 DME 为切入点。扩大并逐步稳定 DME 的需求量,刺激国内的 DME 生产,使之逐步发展,达到作为国内重要替代燃料的规模。

2. 从现在开始,大力开展 DME 内燃机的研究,早日攻克技术难点,并尽快实现从实验室技术到产业化的转变。柴油的需求量在三大油品中占首位,2000 年需求量为 7 000 万吨,2010 年为 1.08 亿吨,占油品总量的 50% 以上。DME 替代柴油,可以进一步提高国内 DME 的需求量,加上一定的政策扶植,可使 DME 内燃机在国产汽车中得到广泛应用,同时可带动新一代汽车技术的发展。

3. 目前可以开展以 DME 为燃料的大、中、小型燃气轮机发电机以及制冷采暖锅炉的研制。并调整燃气轮机发电厂的布局,使得 DME 燃料逐步进入能源利用的各个方面。

近年来已出现大量进口石油趋势,如不采取强有力措施的话,中国将会过度依赖石油进口。在此情况下,煤制油(直接液化和间接液化)的研究和开发成为热点,将是必然的,也是应该的。但是,在 DME 已是具有前途的 21 世纪超清洁燃料的情况下,我们可以在思想上再“放开”一些,不一定主要依靠把煤转换成柴油、汽油。我们要解决的是液体燃料短缺问题,如有 DME、甲醇等生产成本低、转换效率高的替代燃料,那么就应重点地走这条多、快、

(下转第 14 页)

皮肉筋脉等组织器官联成一有机的整体,使人体各部的功能活动保持相对的协调和平衡。”这个“协调和平衡”的物质手段就是上述那6篇综述中所包含的内容广泛的生物物理和生物化学功能行为,特别是酶与底物间的特异行为。这些协调和平衡行为,《内经》即概括为“决死生,处百病,调虚实”、“行气血,营阴阳”等内容。

很显然,以上的这些宏观生理功能,不是已有的9个生理功能系统所能承担的,神经系统的指挥传导也不能涵盖所有的物质调节。所以,如果建立起“人体间隙生理学”,其中的人体间隙本身,首先已经是一个明确的解剖定位。可以说,凡所有的有几何形态的肉眼可见实物之外与皮肤之内的仅容可见液体而无肉眼可见固相实物的部分均属人体间隙系统。

也很显然,前述6个综述所讲的诸多内容,也不是现有9个系统所能执行的,如内分泌系统的组织是分泌众多生命物质的场所,但不是那些物质行使生命职能的场所。从另一个角度看,解剖学的触角唯一还没有顾及的地方,也是生理学的触角唯一还没有阐述的地方,就是流经面积最大的人体间隙水系统。因此,本文倡议创建人体间隙生理学的思路,6个综述谈及的内容(以及今后还将有众多发现的内容),都可归纳到“人体间隙生理学”中去,以免这些生命生理,游离在已有的医学学科之外。经此,经络这个已物化出针灸科的理论也可与西医学科正式融合了。我们认为,这种融合,实乃西医之幸、中医之幸、中西医学者之幸。

另外,中国中医研究院张维波博士在其《经络是什么》一书中介绍了国际上对组织间质中多孔介质的定义:(A)多孔物质所占据的空间,至少有一相不是固体,而是液和气相;(B)固相遍及整个多孔介质,比面积大,空隙间比较狭窄;(C)至少某些空洞应该互相连通,称为有效孔隙空间。很显然,人体间隙就是有效孔隙空间。他的研究还发现人体间隙浮络终点是 CO_2 的排出之处。他在书中还有一段专讲经络的化学调节:“一些化学分泌物、激素可通过与构成组织间隙通道的分子如透明质酸分子、胶原纤维分子等发生化学反应,改变分子的结构,进而影响通道的结构;代谢产物如果不能及时地排出组织

(上接第60页)

好、省的道路,不要被用煤来“制油”的路子框住。

四、DME 应及早规划,东、西部同时起步

如上文所述,氢能因普遍应用还有大量技术经济问题无法解决,无法成为中国2030年以前这个关键时期的能源支柱。我们认为较现实的是,在近20~30年内,在中国早日建立“DME经济”,无论是民用替代LPG,或是大规模替代柴油,或是用于发电,等等。其制备、储运、分布都比较容易解决,与中国西部大开发和经济、环境协调发展的战略完全相符,并能促进新一代汽车、电力等能源工业的发展。时间紧迫,国家有关部门应充分重视,及早全面

间隙,就会堆积在间隙中,造成孔隙率的减小,比如, CO_2 是三羧酸循环的代谢产物,它以碳酸根和游离的方式从细胞进入到组织间隙中,如果血液循环不能及时将其带走,就会形成碳酸钙、碳酸镁等碳酸盐沉淀物,堆积在间隙中,久而久之,就会使经络堵塞。因此,一些能够分解这些沉积物的化学过程可以使经络得以疏通。然而,过度的扩大组织间隙对组织液的正常运行并不一定有利,中医理论中有‘经水泛滥’之说。在另一方面,构成组织间隙的胶原纤维、弹性纤维和构成通道‘墙壁’的细胞膜与组织液及其中的各分子之间存在着相互作用力,在宏观上表现为摩擦力,并构成流阻的一部分,这种相互作用力与分子的种类、构像(如液晶态)和浓度等诸多因素有关,因此也受化学物质的调整。以上各种与化学过程有关的调整我称之为经络的化学调节途径。另外还有温度、机械压力等物理因素的物理调节途径。”我们认为,不管是化学调节途径,还是物理调节途径均属人体间隙生理学的内容。

因此,创立《人体间隙生理学》这部专著时机已经到了。建议由卫生部科技司牵头,组织有关单位、院校的专家坐在一起,研究章节大纲,反复论证后,组织编写。这要有点紧迫感和责任感。这部与《经络是什么》对应的书,是把中医理论从迷茫中解放出来的关键之作,中国理应是它诞生的故乡。

参考文献

- [1]关于经络本质和机制的探讨. 科技导报,1996(10)
 - [2]经络就是人体间隙维系统. 大自然探索,1997(3)
 - [3]经络:已有的研究及我们的思辨. 中国中医基础医学杂志,1998(1)
 - [4]试论经络的解剖定位. 解剖科学进展,1998(4)
 - [5]研究经络必须研究电子行为. 科技导报,1998(12)
 - [6]关于经络的物质属性、生理功能及相关联想. 科技导报,1999(11)
 - [7]经络研究的新思路. (一)辽宁中医杂志1999(11);(二)辽宁中医杂志1999(12);(三)辽宁中医杂志2000(1)
 - [8]关于生命复杂系统的超循环研究. 中国医学理论与实践,2001(1)
 - [9]经络纵横再思考. 科技导报,2001(3)
- (以上均为本文作者的文章)

(责任编辑 蔡德诚)

规划。

发展DME可以东部、西部同时起步。在东部的煤炭丰富地区,如枣庄、济宁等地区,生产出来的DME第一步是家用或用于生产其他高附加值的化工产品(如醋酸 CH_3COOH)。在西部,可通过多联产系统,以煤和分散的天然气为原料,联产电力和DME;电力可以东送,DME以用局部管网或油槽车输送供给本地的消费为主,由此来改变西部地区的能源结构、改善环境、保护生态、提高当地人民的生活质量。长距离运输到东部尚需要做详细的技术经济分析。

(中外文参考文献8篇,略)

(责任编辑 蔡德诚)