

# 中国沼气产业化途径与关键技术

庞云芝, 李秀金

(北京化工大学资源与环境研究中心, 北京100029)

**摘要：**对中国目前沼气发展状况和存在问题进行了分析, 对中国沼气产业化的途径进行了探讨。指出沼气产业化要结合社会主义新农村建设发展集中供气, 发展车用替代燃料和替代石油、天然气生产化工原料和产品。需要开发的关键技术有秸秆生物气技术、沼气净化提纯技术和催化合成技术等。

## 1 中国沼气生产现状和产业化方面存在的问题

中国是世界上最大的农业生产国, 每年要产生大量的农业废弃物。农业废弃物主要是作物秸秆、畜禽粪便和农产品加工副产物。目前, 中国每年产生作物秸秆约6亿t, 畜禽粪便21亿t, 农产品加工废弃物1亿t。这些农业废弃物有相当一部分未得到有效的处理, 不仅是资源的浪费, 同时对环境也造成了严重的污染。通过厌氧生物消化的方法生产沼气是实现农业废物资源化和减少其环境污染的重要途径之一。

近几年来, 在中央、农业部以及各级政府的大力推动下, 以农村沼气建设为突破口, 大力推广各类适用技术, 沼气生产取得了显著

成效。在农村沼气方面, 到2005

年底已建成户用沼气池1807万个, 年产沼气约65亿 $m^3$

, 折合464万t标准煤; 建成以集约化畜禽养殖场为主的大中型沼气工程3556处; 在作物秸秆生物气技术方面, 也从试点到开始逐步推广。不论在推广数量, 还是在技术水平上, 中国农村户用沼气在国际上都有重要的影响, 并处于领先地位。但是, 还远未形成产业, 离“产业化”还有很大差距。就沼气产业化而言, 存在的主要问题是:

(1)户用沼气局限问题。目前中国的沼气生产主要还是以户用小沼气为主, 池容一般只有几立方米, 产生的沼气也主要用于农户烧锅做饭; 而且, 这些小沼气的建设大都是在国家支持的情况下建设的, 如果没有国家的支持, 推广起来是非常困难的。因此, 尽管中国小沼气发展势头良好, 数量很大, 但规模小、技术水平低、沼气的利用更多的是“自产自消”型。这种小沼气无论是现在还是将来, 都无法形成规模化和形成产业。

(2)沼气工业化生产问题。农业部门的大中型沼气站主要建在规模化的畜禽养殖场, 受养殖场数量、规模和地域的限制, 其数量有限, 规模也不大(以几百 $m^3$ 的为多)。与其他行业大型沼气厂相比, 农业部门所谓的“大中型沼气”实际上是非常小的。不论是国外还是国内, 大型沼气厂建在污水处理厂的较多, 主要用于消化污水好氧生物处理产生的剩余污泥, 其规模一般都在几千到几万 $m^3$

。例如, 中国

最大的沼气生产厂北京高碑

店污水处理厂, 共有16个消化罐, 每个消化罐的容积为7

850 $m^3$ 。总容积达12.56万 $m^3$

。。中国北京和天津市

政设计院设计的、用于污泥消化的单体消化罐

的容积最大已达10500 $m^3$

。要实现农业系统沼气生产的产业化, 大规模工业化生产是前提, 因为, 产业化就意味着必须工业化。

(3)沼气高值利用问题。沼气的利用途径单一, 利用价值较低, 影响了沼气产业化的形成和发展。目前, 户用小沼气主要用于烧锅做饭, 利用价值非常低; 较大规模的沼气厂生产的沼气也主要用于炊事、供热等, 少数用于发电, 其利用价值也不高。在中国的许多地方, 沼气基本是福利性的供给, 收费很低甚至免费供给。沼气的价值得不到应有的体现, 生产者得不到收益就没有积极性。没有人愿意投资这样的行业, 沼气行业就不可能大发展, 也就无法形成一个独立的产业。

## 2 沼气产业化途径

中国的沼气生产要形成产业, 就必须要从现在的主要局限于农村和农户, 逐步向工业化生产和工业化应用方面转变。也就是说, 沼气要实现工业化生产, 同时, 生产出的沼气也要在满足农村和农户使用的同时, 转向工业领域的应用

。因为,只有实现了工业化生产,才能产生规模效益,这是产业化的前提;而只有转向工业领域应用,才能实现沼气的高值利用和实现沼气的实际价值。

只有这样,才能在农村形成一个巨大的沼气产业,在满足农村和农民需求的同时,走出农村和农业,开辟新的产业化途径,为农业和农村开辟新的致富之路。结合中国的具体情况,笔者认为中国沼气产业化有如下几条发展途径。

### 2.1 结合社会主义新农村建设,发展专业化的沼气集中生产和供气

由于中国地域广阔,区域特点明显,各地经济发展水平相差很大,在今后相当长的时间内,户用小沼气仍需要大力推广。但同时也要看到中国社会主义新农村建设对清洁能源的需求。社会主义新农村建设是中国一项长期的战略任务,包含了许多建设内容,各地的建设内容也不尽完全相同。但都会包含清洁能源使用这一重要内容。例如,江西省提出了“三通一气”建设内容,“三通”即路通、水通、电话通,“一气”即指沼气。新农村建设都要求小村合并、集中和统一规划,因而具备了集中供气的条件,对这样一些新建村庄以及农村的中心镇,就不再适宜发展户用小沼气了,发展集中供气就具有了更多的优势,显得更为必要。

每个村或镇可建设一个沼气站,利用本村镇产生的生活垃圾、人畜粪便和秸秆等废弃物集中生产沼气,沼气通过管道送往各家各户,就像城市使用管道煤气一样清洁、卫生和方便。其优点在于:(1)不再需要每家每户都建设沼气池和每家每户都要投入人力进行日常管理,节约人力、财力和方便农户;(2)沼气站规模较大,有懂技术的专人进行管理,有利于提高生产效率和更好地保障稳定的供气;(3)避免小沼气那样的“百户人家百户池”的散乱现象,也有利于改善新农村的环境和更好地树立新农村的良好形象;(4)可实行规模化生产和商业化运作,可由专业公司设计、建设和经营沼气站,沼气按实际价值收取费用,这样既可大幅提高沼气生产的技术水平,也可实现市场化运行。

随着社会主义新农村建设步伐的加快和建设数量的增加,越来越多的自然村镇要进行改造和重新建设,对清洁、方便能源的需求会越来越大,对环境的要求也会越来越高。利用村镇和农业产生的废弃物就地转化,集中生产和供给沼气,既可改善村镇环境,又可生产清洁能源,是社会主义新农村建设的必要内容。可以预见,越来越多的新建村镇将使用集中供气,并逐步替代户用小沼气,形成新形势下的新农村能源产业。

### 2.2 生产车用替代燃料,发展农村能源工业

沼气在能源方面的利用主要有炊事、供暖和沼气发电等。用作炊事、供暖,难以形成一个产业。而由于中国沼气生产的规模较小,空间布局分散,发电和输送设备投资大,发电量少而成本又高,入网又困难,与煤电厂的发电效率和规模效益相比不可同日而语,此外,中国的煤炭资源又非常丰富,因此,在近阶段,要把沼气发电作为一个能源产业来发展还具有相当的难度。而随着中国社会经济的发展和人们生活水平的提高,汽车的保有量将会快速增加。2004年,中国民用车保有量为2382万辆,预测,到2020年将发展到14000万辆。中国又是一个缺油的国家。因此,利用沼气发展车用燃料会更有价值,具有更为广阔的发展前景。

汽车的快速发展需要消耗大量的燃料。近年来,由于石油价格的飙升和环境污染的加剧,人们把注意力开始转向更为清洁和廉价的天然气。与汽油、柴油、乙醇相比,以甲烷为主要成分(一般占95%以上)的天然气燃烧时释放出的温室气体最低,是更为清洁的能源,因而,得到了越来越广泛的应用。目前,全球有410万辆压缩天然气汽车,8300座加气(油)站。为改善城市环境质量,中国从1999年开始实施了《清洁汽车行动》计划,确定在北京、上海、天津等12个城市和地区作为清洁汽车示范城市,发展液化石油气汽车(LPG)和压缩天然气(CNG)汽车。到2004年,北京已建有72座加气站,有2万多辆公交车和出租车在使用燃气,其中CNG加气站30个,使用CNG的公交车有1800辆,并计划到2008年发展到8000辆。CNG虽好,但毕竟是不可再生的化石资源,而且这几年由于价格的持续升高,其吸引力正在下降;并且,也不是所有的城市都像北京这样有充足的天然气可供使用。

沼气的主要成分是 $\text{CH}_4$ 和 $\text{CO}_2$

,此外,还含有一些其他微量成分,不能直接车用。通过采用变压吸附(PSA)、水洗、Selexol(聚乙二醇二甲醚)、碳酸丙烯酯和碱溶液吸收等物理和化学方法,可有效

地去除沼气中的 $\text{CO}_2$ 和 $\text{H}_2\text{S}$ 等杂质,使得沼气中甲烷的含量提高到97%~99%。净化提纯后的沼气的称“车用沼气”,既可替代汽油,也可替代现有的CNG作为车用燃料。但与天然气相比,它具有可利用废弃物生产、不受气源和地域限制、可再生等特点。

研究表明,1标准 $\text{m}^3$ 的车用沼气相当于1.15L汽油的燃烧值。若按天然气价格计,1标准 $\text{m}^3$ 的车用沼气的价格在2.2~2.8元之间,而1.15L93号汽油的价格现阶段则为5.85元,两者相差一倍多。而且,中国汽油的价格尚未与国际接轨,以后的价格还会继续攀升,则车用沼气的价格优势会更具吸引力。此外,以甲烷为主要成分的车用沼气的生产本身是消

除环境中污染物的清洁过程，其使用又是一个清洁的过程，制造与利用的双向清洁过程使车用沼气将会更受人们的青睐。

根据国际能源署2005年的研究报告，目前，已有美国、德国、法国等7个国家有规模化的车用沼气生产厂23个，其中瑞典做的最好。到2005年底，瑞典全国有5000多辆沼气汽车，加气(油)站逐年成倍增加，已达70余座。其中，首都斯德哥尔摩的2路车(共24辆)全部使用的是净化沼气作燃料(称biogasbus)。Linkoping市共7路公交车全部使用的是车用沼气，并且还生产出了世界上第一列沼气火车，运行在Vastervik市和Linkoping市之间。该火车可连续运行600km，最高时速可达130km/h。

车用沼气生产和使用的工艺流程如图1。只要在厌氧发酵后增加一套净化提纯设备和储气罐即可，加气站也可利用现有站点，中国汽车改装技术也比较成熟。因此，从技术上没有障碍，其关键是沼气的净化提纯技术。

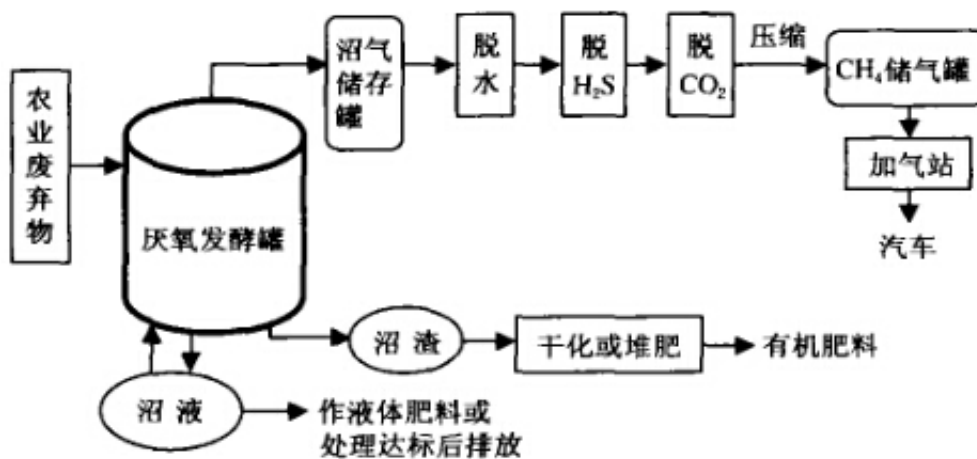


图1 车用沼气生产和使用工艺流程

Fig.1 Flow diagram of biogas fuel production and application

### 2.3生产化工原料和产品，发展沼气化工工业

石油、天然气是最基本的化工原料，而中国是一个“富煤平油少气”的国家。中国已探明的石油、天然气储量仅占世界储量的2.4%和1.2%，资源保证年限分别只有20.1年和49.3年。另一方面，中国已成为世界石化产品消费最大的国家，约22.1%的石油用于生产化工产品。而且，石油、天然气是不可再生的化石原料，随着社会经济需求的快速增加和资源量的迅速减少，保障供给和提高价格都将是中 国能源和化工行业面临的急迫的重大战略问题。2005年中国石油进口依赖度为43%。

预测2010年和2020年将分别达到61.0%和76.9%。据报道，到2020年中国的石油仅能满足石油化学工业50%的原料需求。因此，寻求可再生替代资源生产化学品不仅是世界发展的大趋势，也是中国面临的急需解决的重大问题。沼气的主要成分 $\text{CH}_4$ 和 $\text{CO}_2$ 是基本的化工生产原料，以其为基础，可生产多种高附加值的化工产品。

#### 1)生产 $\text{CH}_4$ 和 $\text{CO}_2$

工业气体。通过净化提纯技术，可从沼气中把 $\text{CH}_4$ 和 $\text{CO}_2$ 直接分离出来，作为工业气体使用。 $\text{CH}_4$ 可用来替代天然气合成燃料和多种基础化学品。

#### 2)生产合成气( $\text{CO}+\text{H}_2$ )。在化学工业领域，合成气( $\text{CO}+\text{H}_2$ )

是非常重要的化工原料，用来生产多种化工产品。化学工业上，合成气( $\text{CO}+\text{H}_2$ )一般由 $\text{CH}_4$ 和 $\text{CO}_2$ 经催化重整制取( $\text{CH}_4+\text{CO}_2 \rightarrow 2\text{CO}+2\text{H}_2$ ， $\Delta H_{298}^{\circ}=247\text{kJ/mol}$ )或由天然气( $\text{CH}_4$ )经水蒸气重整的方法生产( $\text{CH}_4+\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}+3\text{H}_2$ ， $\Delta H_{298}^{\circ}=206\text{kJ/mol}$ )，其中 $\text{CH}_4$ 来自天然气。天然气是化石原料，也是不可再生的紧缺原料，此外，其制取过程是一个强吸热、高耗能的化学反应过

程，也不符合资源节约和环境保护的要求。

而

通过厌氧

消化生产沼气是一

个非常“温和”的生物学过程，该过

程产生的沼气的主要成分正好是天然的 $\text{CH}_4$ 和 $\text{CO}_2$

混合物(分别占60%和35%左右)。利用沼气( $\text{CH}_4+\text{CO}_2$ )经催化剂重整制取合成气( $\text{CH}_4+\text{CO}_2 \rightarrow 2\text{CO}+2\text{H}_2$ )，则可替代目前广泛使用的以化石原料天然气( $\text{CH}_4$

)生产合成气的方法，开辟低耗、低成本的利用非化石的农业废弃物生产化学品的绿色、清洁生产新工艺。

3)生产化工产品。从沼气中提取出的 $\text{CH}_4$ 和 $\text{CO}_2$

以及以沼气为原料制取的合成气( $\text{CO}+\text{H}_2$

)是基本的化工生产原料，

可进一步生产多种高附加值的液体燃料和化工产品。

例如， $\text{CH}_4$

可直接转化成乙炔、氢气、炭黑、氯甲烷、氢氰酸、硝基甲烷和二硫化碳等，也可首先转化成合成气，然后再合成氨生产化肥，或经费托(T-T)合成制取液体燃料如汽油、柴油，也可转化成甲醇、二甲醚、低碳混合醇和低碳烯烃等一系列重要的化工产品，其中甲醇和二甲醚可直接用作车用燃料，替代汽油。

与以化石原料石油、天然气相比，以沼气为原料生产化工产品具有重要的战略意义和潜在的发展前景。首先，实现了沼气户用向工业化应用的重大转变，可把农业废弃物转化成高附加值的化工原料和产品，在农村形成一个新的产业—沼气化工工业，为农业和农村开辟出新的致富之路。其次，减少了化工产品生产对化石原料的依赖，实现从“化石原料”化工向“生物原料”化工的转变，可改变中国化学工业长期依赖化石原料的局面，对实现化学工业的可持续发展具有开创性和革命性的意义，也为化学工业的未来开辟出新的发展道路。因此，尽管以沼气生产化工产品还是一个新的课题，目前还没有实质性的工业应用，但是，从现在起就要做好技术研发工作，为以后的发展做技术准备。

### 3关键技术

针对上述产业化途径，近期需要解决的关键技术主要有如下几个方面。

#### 3.1 秸秆生物气化技术

常用的沼气生产原料是人畜粪便、食品废物和有机垃圾等，但是，这些原料的来源是有限的，不是所有的地方都可以获得这些原料，这就大大限制了沼气生产的发展。沼气要作为一个产业发展，就必需要有充足和有保障的原料。中国的作物秸秆遍布全国各地，具有来源广泛，收集、储存方便，价格便宜等特点，是最可利用的沼气生产原料，其本身也需要寻找出路。但是，由于秸秆的木质纤维素含量较高，不能被厌氧菌有效地降解，相对于畜禽粪便等易消化的物料，秸秆的生物气化要困难的多。因此，还有一些特殊的关键技术问题需要解决。首先，需要研究各种预处理方法，通过预处理提高秸秆的可生物消化性能、消化效率和产气率。其次，要针对秸秆密度小、体积大、不具有流动性等特性，研究适合其物料特性的专用高效厌氧消化反应器，并研究出最优的反应器运行参数。

目前，秸秆的干发酵、生物膜式两项厌氧消化技术比较适合秸秆的物料特性，是发展的方向。通过这些技术的组合运用，才能实现秸秆的高效消化和提高其经济性。北京化工大学资源与环境研究中心对秸秆高效厌氧消化技术进行了比较深入的研究，并在山东泰安建成了利用秸秆生产沼气的第一个农业部示范项目，获得了预期的效果，农业部已确定今年在全国再建四个同类型的示范项目。该技术的开发成功可为沼气的工业化大规模生产和沼气的产业化提供保障。

#### 3.2 沼气净化提纯技术

不论是生产车用沼气，还是生产化学品，都需要首先对沼气进行净化提纯，沼气的净化提纯技术对沼气的深层次、高附加值利用是至关重要的。汽车对燃料的要求是非常严格的，要保证其使用对发动机不能有任何损坏和不利的影。沼气主要成分是 $\text{CH}_4$ 和 $\text{CO}_2$ ，此外，还含有 $\text{H}_2$ 、 $\text{S}$ 等其他微量成分，需要净化提纯到一定的标准后方可使用。净化提纯的主要任务是去除 $\text{CO}_2$ 和 $\text{H}_2\text{S}$ 。

目前，比较普遍采用的 $\text{CO}_2$ 净化方法是变压吸附法和水洗法。 $\text{H}_2$

S主要有干法、湿法和生物脱除几种方法，干法常采用 $F_2O_3$ 和活性炭作脱硫剂；湿法主要有碱液吸收和加压水洗等；生物脱硫需要培养专门的脱硫菌来除硫。通过上述方法，可有效地去除沼气中的 $CO_2$ 和 $H_2S$ 等杂质，使得沼气中甲烷的含量提高到95%~97%。

目前，只有德国、瑞典和瑞士这3个国家制订了专门的车用沼气标准，中国只能借用《车用压缩天然气国家标准》(GB

1807-2

000)。这些

标准一般都规定车用沼

气中甲烷的含在95%~97%之间， $H_2S$ 含量在15

ppm以下，此外，还对 $O_2$ 和 $N_2$

含量以及露点等有所规定。由于原料来源、消化方式等的不同，沼气成分的变化是比较大的，因此，一种技术组合是不能完全解决问题的。中国目前还没有专门针对车用沼气净化提纯的技术和工业化装置，以后的主要任务是结合不同沼气的成分特点，借鉴国外的技术，对这些技术进行具体的研究和有针对性地设计净化提纯工艺和确定运行参数。

### 3.3催化合成技术

生物气产生于“生物反应器”，而合成气产生于“化学反应器”，需要把两者结合在一起构建一个完整的工艺系统，才能达到利用沼气生产高值化工产品的最

终目的。在化学工业，用 $CH_4$ 和 $CO_2$ 气体来制取合成气( $CO+H_2$

)的技术已经比较成熟，工业用 $CH_4$ 和 $CO_2$

气体可按化学反应要求自由配

比，工艺技术也比较成熟。虽然生物气经净化提纯后 $CH_4$ 和 $CO_2$

含量可以达到97%以上，但其中仍含有微量的其他气体成分，对催化剂有“毒害”作用，对合成过程会产生不利的影

响；此外，其 $CH_4$ 和 $CO_2$ 含量分别占60%和35%，而 $CH_4$ 和 $CO_2$ 的反应式是 $CH_4+CO_2 \rightleftharpoons 2CO+2H_2$

( $\Delta H_{298} = 247\text{kJ/mol}$ )，要求 $CH_4$ 和 $CO_2$

是1:1的关系，因此，还需要根据厌氧消化过程中生物气产生量和成分特点，调变生物气制合成气工艺流程及化学反应过程(例如在反应原料气中加入少量氧气)。在研制出的新型催化剂的催化转化下，使生物气完全转化为合成气，最终建立将厌氧生物降解过程与生物气制合成气的化学过程耦合为一体的、完整的新工艺过程，以最终用于实用。

### 4讨论

中国沼气的生产和使用要在政府支持下继续发展。在继续大力推广户用小沼气、满足分散的家庭农户使用的同时，逐步走出农村和农户，向沼气工业化生产和工业化应用方面转变，最终建立农村沼气产业，为农业、农村和农民开辟新的致富之路。目前，首先要结合中国社会主义新农村建设，大力发展沼气的集中生产和供气，并实行专业化管理和市场化运作；其次，结合中国汽车工业的快速发展和国际石油价格的持续走高，大力发展车用沼气，开辟新的应用领域和提升沼气的利用价值；最后，积极开展沼气在化学工业方面的应用基础研究，为未来发展提前做好技术准备。同时，积极做好相关关键技术的研究开发，为沼气产业化发展提供技术支持。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/89924.html>