

一种基于管道燃气的农村能源供应模式

□ 同济大学机械工程学院 (201804) 李振群 秦朝葵 戴万能 郭甲生

摘要: 对我国农村能源消费现状进行了分析, 并对农村生物质能资源及其产沼气潜力进行了计算评估。针对大部分地区产沼原料不能满足农民全年生活用气需求的现状, 提出一种将生物质能与商品能源有机结合的供能模式——沼气掺混LPG的管道供应。该供能模式可通过调节LPG的掺混比例满足不同地区、不同阶段的农村用能需求; 初步分析了管道供应掺混燃气的技术经济可行性。

关键词: 城镇化 农村能源 沼气 LPG 掺混燃气

A Pipeline Gas-based Mode for Energy Supply in Rural Areas

College of Mechanical Engineering, Tongji University Li Zhenqun, Qin Chaokui, Dai Wanneng, Guo Jiasheng

Abstract: The status of energy consumption in rural areas was analyzed. The biomass resources available and potential to provide biogas was calculated and estimated. A new energy supply mode, pipeline biogas blended with LPG, was put forward for those areas where biogas production can not satisfy domestic energy requirement. The blended LPG percentage can be adjusted to satisfy domestic energy consumption in different areas at different development levels. Also discussed was the technical feasibility of pipeline blended gases.

Keywords: urbanization rural energy biogas LPG mixture gas

1 前言

我国经济近30年来的快速发展伴随着大量的能源消耗。1980年以来中国能源总消耗量每年增长约5%, 是世界平均增长率的近3倍。自2001年起能源生产增长速度持续低于能源消费增长速度, 能源缺口越来越大^[1]。2009年原油净进口1.99亿t, 对外依存度首度超过50%的“国际警戒线”, 国家能源安全形势严峻。

城镇化建设持续高速推动着农村生活方式向城市转变和农村能源消费的急剧增加。我国农业人口达8亿, 农村能源作为国家整个能源系统不可分割的重要组成部分, 其不断增长的供应与消费量必然加剧我

国能源形势的严峻性。因此, 如何充分利用农村自有资源优势、尤其是生物质能资源, 尽量减少商品能源消耗, 寻求合理可靠的农村能源供应模式显得尤为重要。本文通过对我国农村能源消费现状及生物质资源量进行分析, 提出一种新的农村能源供应模式——沼气掺混LPG模式, 并探讨了管道供应掺混燃气的技术经济可行性。

2 农村能源消费及生物质利用现状

2.1 能源消费现状

2008年我国商品能源一次能源消费总量为27.5亿t标煤, 农村能源消费量为9.25亿t标煤, 其中商品能源

占57%，非商品能源占43%；生活用能占63%，生活用能主要以秸秆薪柴和煤炭为主，共占68%^[2]。

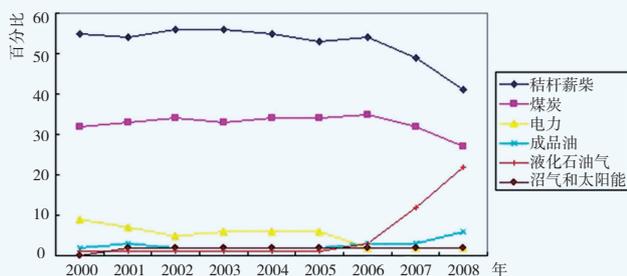


图1 农村生活用能消费结构变化^[2]

近几年农村生活用能的结构变化见图1。秸秆薪柴、煤炭消费比重虽呈下降趋势，2008年仍各占41%和27%。秸秆薪柴的直接燃烧不但严重污染环境、危害农民健康，且能源利用率只有10%~15%，煤炭属高污染传统不可再生能源；属可再生能源的沼气、太阳能各自所占比例一直维持在1%，反而是商品能源LPG所占比例急剧增加到22%，有接近于煤炭消费比例的趋势。随着经济水平的提高，农民对生活品质的要求也相应提高，与烟熏火燎的秸秆燃烧相比他们更倾向于方便、卫生、快捷的LPG。如果任由农民自发性地选择能源消费，农村大量的秸秆资源将被废弃，农村商品能耗的急剧增长将严重增加我国能源负荷。因此，提高农村能源利用率，调整和优化农村能源结构、减少商品能源消耗量对缓解我国能源压力和实现能源可持续发展有重大意义。

2.2 生物质利用关键技术及发展趋势

在利用生物质能解决农民生活用能问题上我国尝试过两种途径：秸秆气化和沼气。1996年秸秆气化技术出现，1998年开始在全国推广，但一直发展缓慢且报废率高^[3]。据农业部统计：2006年全国报废量为130处，相当于同年全国新建数量（193处）的67%。秸秆气化技术还需解决一些关键问题，如燃气中焦油及灰尘含量超标，引发气化设备、管网、灶具等一系列问题；所产气体热值低、CO含量高，存在安全隐患等^[4]。

在我国政府的资金支持下农村户用沼气池数量持续增长，但实际使用效果不佳，政府惠农行动并没有达到预期效果。2007年初农村户用沼气池共2 174万口，年新增沼气池482万口，年报废量33.4万口^[5]。农

业与农村发展研究专家的调查显示：农村户用沼气池实际能持续使用的不到20%^[6]。户用沼气池主要存在以下问题^[7]：

(1) 农民缺乏操作技能、疏于管理，如进出料不及时，脱硫装置不更换等。

(2) 综合利用率低，沼液沼渣未能得到有效利用，形成二次污染和资源浪费。

(3) 非养殖农户存在原料短缺问题，养殖户的养殖数量受市场经济影响变动大。

(4) 后续服务跟不上，故障维修不及时。

可见户用沼气应用的瓶颈不是技术问题，而是管理问题。

对于新农村建设下统一规划、村落整齐的自然村，有专业技术人员管理的沼气集中供气系统消除了户用沼气池管理上的所有缺点。从长远发展趋向看，农村能源必将呈现出产业化、生态化、科学化、商品化、竞争化等特点，沼气集中供气系统实现了一定程度上的规模化及产业化，顺应了农村能源的发展趋势，也是农村沼气发展的方向。

3 农村生活用能源供需分析

生物质主要包括农业废弃物、畜业废弃物、林业废弃物、生活污水和工业有机废水、城市固体有机废弃物，我国农村地区就地可取材的沼气发酵原料主要是农业废弃物和畜业废弃物两大类。然而这些发酵原料是否满足农民全年持续稳定的生活用气需求呢？下面就农村生活用能（仅包括炊事用能和生活热水用能，不包括照明、家电、采暖空调等）供需量进行分析论证。

3.1 农村生活用能供应能力

3.1.1 农村畜禽粪便量和秸秆量的计算

畜禽年度粪便产生量计算公式为^[8]：

$$F = N \times T \times P$$

式中： F ——年度粪便产生量； N ——饲养量； T ——饲养期； P ——排泄系数

目前不乏我国畜禽粪便资源量的估算研究，但由于饲养量、饲养期以及排泄系数的选取不同导致估算结果各异。综合参考已有研究^[2, 9-12]，合理确定各种畜禽的粪便排泄系数（见表2）、饲养数及饲养周

期，其中饲养数的确定是关键。猪的饲养周期一般为199天，饲养数按出栏量计算；家禽中肉鸡的饲养周期为55天，蛋鸡的饲养周期为210天，二者均按出栏量计算；牛、马、羊、驴、骡一般当年不出栏，按存栏量计算，兔的饲养期为90天，按出栏数计算。各种畜禽的出栏数及存栏数来自《中国畜牧业年鉴2008》中有关统计数据。将不同地区、不同畜别粪便量分别进行计算，可得我国人畜粪便年产量为13.33亿t实物。

秸秆资源量通常是根据农作物产量和草谷比系数进行估算，其中，草谷比系数（Residue to Product Ratio，缩写为RPR）指作物的地上非籽粒部分与籽粒部分的重量比，该系数存在地区、年际、品种、大田管理及收获方式等多方面的差异^[13]。这里草谷比采用科技部星火计划《农作物秸秆合理利用途径研究报告》中的数据（表1）。根据各地区主要农作物产量^[14]及相应的草谷比估算各地区农作物秸秆产量，并得全国农作物秸秆理论年产量为6.82亿t实物。在我国秸秆用途较多，可用作肥料、饲料、造纸、秸秆还田等，因此，秸秆不应该只考虑作为燃料用，计算中按我国

50%的秸秆资源即3.41亿t可用来发酵产沼气。

表1 主要农作物草谷比（RPR）

	稻谷	小麦	玉米	薯类	油料	棉花	麻类	糖料
草谷比	0.952	1.28	1.247	0.5	2.212	3.316	1.7	0.1

3.1.2 农村畜禽粪便和秸秆资源理论产沼气量

沼气的产量与沼气池内的温度、pH值、接种物等发酵工艺条件有关，因此不同资料显示的各种原料产气量存在些许差异。这里确定农村沼气发酵原料的产气量、含水量等参数如表2所示。表中产气量是发酵温度为35℃时的值，计算时取沼气池年平均温度为20℃，此时产气量为表2中的60%^[11]。计算中将各种农作物秸秆的单位干物质产气量统一为0.41m³/kg，含水量为20%。沼气产量按下式计算：

$$Q = \sum F_i \times X_i \times (1 - Y_i)$$

式中：Q——沼气产量；F——发酵原料；X——产气率；Y——含水率；i——第i种发酵原

表2 不同原料的产气量、含水量和排泄系数^[2,11,12]

原料	TS产气量 (m ³ /kg)	含水量(%)	排泄系数(kg/d)	原料	TS产气量 (m ³ /kg)	含水量(%)	排泄系数(kg/d)
人粪	0.43	80	0.5	羊粪	0.33	68	1
猪粪	0.43	82	2.6	马粪	0.33	78	16
奶牛粪	0.21	83	5	驴粪	0.33	78	13.6
肉牛粪	0.21	83	15	骡粪	0.33	78	13.6
肉鸡粪	0.31	70	0.3	兔粪	0.30	75	0.11
蛋鸡粪	0.31	83	0.1	秸秆	0.41	20	

注：TS指单位固体量；发酵温度为35℃；发酵周期：秸秆为50d，粪便为60d；



图2 各地区秸秆、粪便产沼气量及沼气需求量

料。各地区秸秆和人畜粪便理论产沼气量（人均值）的最终计算结果如图2所示。

3.2 农村生活用气需求量

农村生活用气主要包括炊事用气和生活热水用气两大项。在农村每人每天炊事用沼气量约 $0.28\text{ m}^3\sim 0.42\text{ m}^3$ ^[15]，取 0.4 m^3 进行计算。参考上海地区人均每年洗澡150次^[16]，假设现阶段农村地区每人每年洗澡120次，每次用水量40L，则：

$$\text{人均年炊事用气量} = 0.4 \times 365 = 146 \text{ (m}^3/\text{a)}$$

人均年生活热水用气量按下式计算：

$$cm(t_2-t_1) \cdot n = \eta VH_l$$

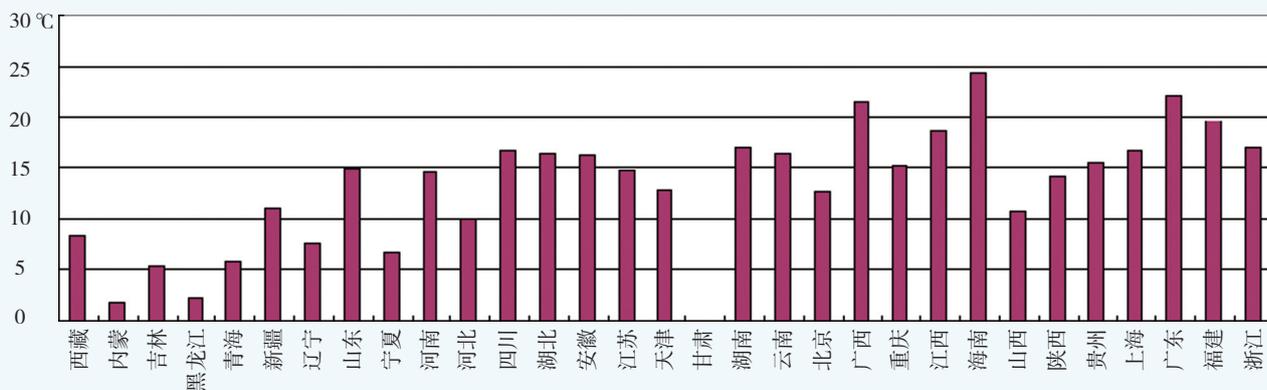
式中： $c=4.18\text{ kJ/kg}\cdot\text{C}$ ，为水的比热； $m=40\text{ kg}$ ，为洗澡用水量； t_1 为热水器进水温度（取当地年平均干球温度见图3）； $t_2=40\text{ C}$ 为热水器出水温度； $n=120$ 为洗澡次数； $\eta=80\%$ ，为热水器效率； $H_l=20.4\text{ MJ/m}^3$ ，为沼气的低热值（取沼气成分为 $\text{CH}_4 60\%$ ， $\text{CO}_2 40\%$ ）。各地区人均沼气需求量即炊事用气和生活热水用气之和，结果见图2，图中可以看出，西藏、内蒙、吉林、黑龙江、青海、新疆、辽宁、山东、宁夏、河南等10个农业或畜牧大省的沼气理论产量能满足农民持续用气需求。沼气富余地区可以考虑发展沼气采暖，沼气不足地区则需要其他能源的补充。

4 持续稳定的农村生活用能供应模式

4.1 掺混供气模式的优势

当前由于农村地区生活用能的多样性和不确定性，许多农村住宅不得不置备多套炊事灶具，如沼气灶、液化气灶、煤球炉、传统柴灶，甚至还有秸秆气化灶，然而任何一种用能方式都没有实现持续提供稳定可靠的优质能源及服务、进而实现城乡居民能源公平这一建设社会主义新农村的必要目标。多种炊具不仅影响室内环境且不利于农村能源的产业化发展。

对于生物质资源量较低地区，沼气供应生活用气的缺口势必需要其他商品能源来填补。中国人的传统饮食习惯（即对明火的需求）决定了电力终究是农村的辅助炊事能源；LPG是当前最受农民欢迎的高效清洁商品能源，2008年农村生活用能中LPG的比重比2005年提高了21个百分点，也充分说明了这一点。基于生物质能与LPG有机融合的可持续发展策略，在新建村镇沼气站中可设置一套混合装置，根据各地区用气缺口量向沼气中掺混一定比例的LPG，经由储气罐混合稳压后通过管网输送到用户。这样就将沼气和LPG两种优质燃气的利用结合起来，一套管网、一套灶具和热水器便可解决农民用气需求。



数据来源：中国建筑热环境分析专用气象数据集

图3 各地区年平均干球温度

表3 沼气-LPG掺混供气模式与2008年我国农村实际生活用能消费比较

用能模式	农村秸秆薪柴总耗量		农村LPG总耗量		农村沼气总耗量	
	实物 (10^8 m^3)	折合标煤 (10^8 t)	实物 (10^8 m^3)	折合标煤 (10^8 t)	实物 (10^8 m^3)	折合标煤 (10^8 t)
2008年实际情况	—	2.39	394.51	1.282	81.62	0.058
掺混供能模式	0	0	54.87	0.178	1 009.8	0.721

根据沼气需求量与产气量的差值，可计算出全国所需LPG掺混总量。表3将沼气-LPG掺混供气模式与农村实际生活用能消费进行了比较。掺混供能模式中全国农村炊事和生活热水用能全部由沼气和LPG承担，其中沼气耗量为1 009.8亿m³，折合0.721亿t标煤，是2008年农村实际沼气耗量的12倍，LPG耗量为54.87亿m³，折合0.178亿t标煤，是2008年农村实际LPG耗量的1/7。换言之，在充分利用农村生物质资源发酵制沼气的基础上，再将2008年LPG消费量的1/7掺混到沼气中，即可满足我国农民的炊事、热水用气需求。因此，掺混供能模式在大大提高生物质能利用率的同时极大地降低了农村LPG等商品能耗量。

4.2 掺混供气模式的可行性

城镇化进程中，农民生活水平和农村文明程度的不断提高，伴随着农村能源需求量的动态增长变化，农村炊事、生活热水甚至室内采暖等生活指标将逐步接近或达到城市居民水平。掺混供气模式可通过调节沼气和LPG的混合比来提高管输燃气的热值，进而满足城镇化进程中不同阶段农民生活用气量动态增长的变化需求。

当前沼气集中供气工程在我国已得到一定程度

的推广，技术相对成熟。掺混供气模式在其基础上添加一套燃气混合装置如引射器或比例式混合器（图4），掺混燃气热值的提高将在一定程度上降低输配系统的管材费用，LPG比例越大，惰性气体含量越低，输配系统的经济性越好。因此，掺混供气模式的经济性视选用的混合设备的费用及掺混比例而定。另外，在沼气中掺混LPG相当于稀释了沼气，各种发酵工艺条件改变等因素引起的沼气成分波动继而引起的末端设备燃烧不稳定概率降低，掺混气的热值及燃烧势都有所提高，燃烧火焰状况有所改善，灶具功率也相应提高。

5 结论

中国农村落后、低效率的生活用能模式严重制约着国家能源的可持续发展，寻求适合农村发展的高效能源利用模式迫在眉睫。本文通过分析农村现有生物质资源产沼气能力和生活用能潜在需求之间的关系，指出我国大部分农村存在沼气发酵原料不足的问题，提出通过气体混合装置向沼气中掺混一定比例的LPG，再通过管网输送到用户。

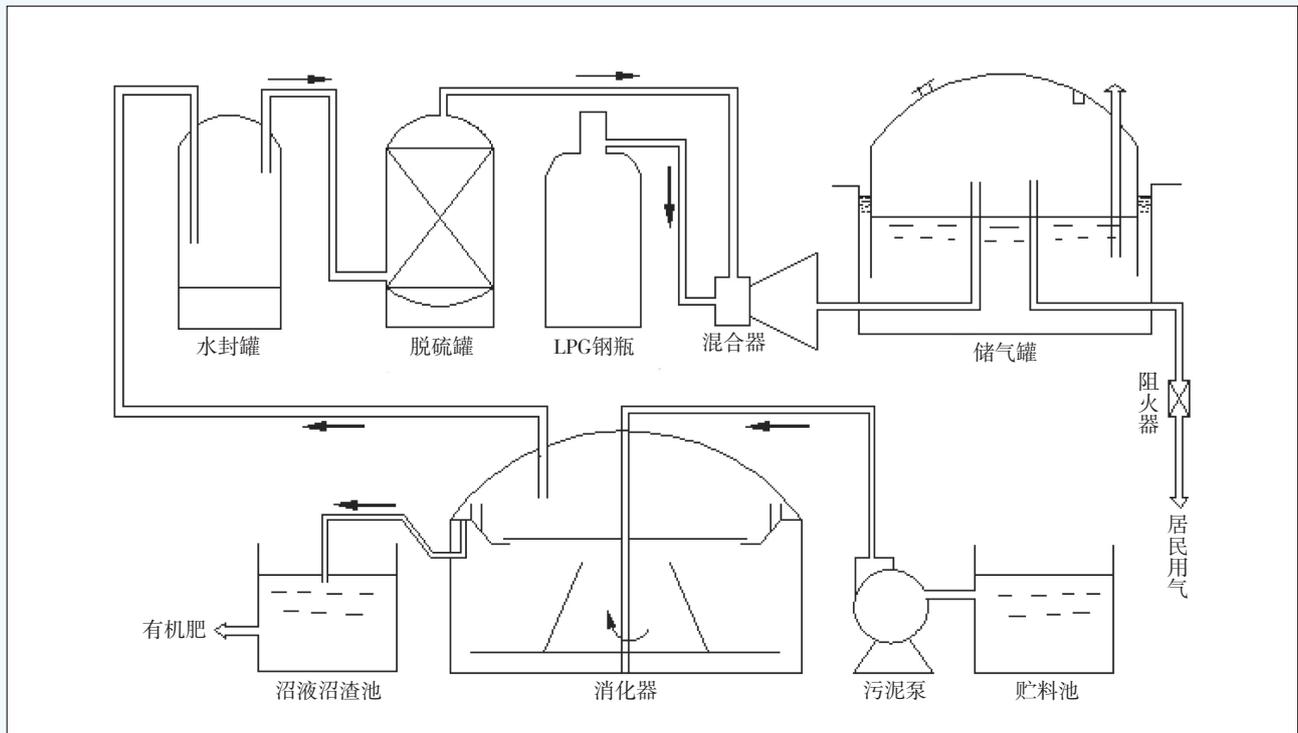


图4 沼气-LPG掺混供能模式原理图

对掺混供气模式和农村实际用能模式进行比较,发现掺混供气模式的能源利用率高、商品能源消耗量小,LPG使用量可降低为2008年实际耗量的1/7。而且通过调节掺混比例可以满足农村生活用能的动态增长变化需求。农村沼气站实现掺混燃气管道供应是集规模化、高效低耗以及可持续发展为一体的农村能源供能模式,可为农村生活用能发展及政策研究提供一定的理论参考。

参考文献

- 1 国家统计局.中国能源统计年鉴2001-2008[Z].北京:中国统计出版社
- 2 刘广青,董仁杰,李秀金.生物质能源转化技术[M].北京:化学工业出版社,2009:25-47
- 3 顾念祖,郭宏伟,张子馨.中热值秸秆热解气化是实施秸秆气化工程的必由之路[J].能源研究与利用,2004(增刊):64~65
- 4 高春雨,李铁林,王亚静,毕于运.中国秸秆气化集中供气工程发展现状·存在问题·对策[J].安徽农业科学,2010;38(4):2181-2183
- 5 农业部科技教育司.中国农村能源年鉴2000-2008[Z].北京:中国农业出版社,2008:445
- 6 中国新能源网. <http://www.newenergy.org.cn/>
- 7 王香枝.目前沼气发展中存在问题剖析及建议[J].河南农业,2008;2

南农业,2008;2

- 8 张克强.我国畜禽养殖业污染物排放和利用现状分析[Z].北京:农业部环境保护科研监测所,2009
 - 9 彭里,王定勇.重庆市畜禽粪便年排放量的估算研究[J].农业工程学报,2004;20(1):288-292
 - 10 王方浩,马文奇,窦争霞等.中国畜禽粪便产生量估算及环境效益[J].中国环境科学,2006;25(5):614-617
 - 11 刘荣厚.生物质能工程[M].北京:化学工业出版社,2009:29
 - 12 中国电力科学研究院生物质能研究室.生物质能及其发电技术[M].北京:中国电力出版社,2008:112-114
 - 13 丁文斌,王雅鹏,徐勇.生物质能源材料——主要农作物秸秆量潜力分析[J].中国人口·资源与环境,2007;17(5):84-88
 - 14 国家统计局农村社会经济调查司.中国农村统计年鉴2009[Z].北京:中国统计出版社,2009
 - 15 亚洲太平洋经济和社会理事会.沼气发展指南[M].北京:科学技术文献出版社,1984:4
 - 16 姜正侯.燃气工程技术手册[M].上海:同济大学出版社,1997:506
- 本文由国家十一五科技支撑计划项目资助,项目代码:2008BAJ08B04-06

工程信息

合肥市新桥机场燃气工程开工

2010年8月13日,从合肥市国资委了解到,合肥新桥国际机场燃气中压管道工程于8月2日开工,目前前期工作正紧张进行中。

备受瞩目的合肥新桥国际机场是国内4E级枢纽干线机场,目前各项主体及配套工程建设正如火如荼地进行着。其中合肥燃气集团承建的机场燃气中压管道工程自8月2日开工以来进展顺利,目前正在进行管道沟槽开挖工作。

为确保8月份完成此项工程,燃气集团对工程实施做了详细规划,在现场设立了项目部,派专人驻点,要求做到资料与工程同步,并视现场施工进度随时增派施工队伍。

同时要求在工程施工中树立精品意识,强化质量管理,加快建设步伐,将机场燃气工程建成一流工程。

(本刊通讯员供稿)