

中国生物质炉灶技术和应用进展

张伟豪¹，陈晓夫²，刘晓英¹，刘广青¹

(1北京化工大学，北京 100029；2中国农村能源行业协会，北京 100125)

摘要：回顾了我国生物质炉灶的发展历程，介绍了我国生物质炉灶的推广应用现状和技术水平，分析了生物质炉灶性能评价标准和方法；阐述和分析了生物质炉灶开发CDM项目的发展现状、开发方法以及未来发展的巨大潜力；最后提出了生物质炉灶技术和应用发展的建议。

中国是世界最大的

发展中国家，2006年乡村人口总数达7.37

亿人，占全国总人口的比例为56.1%^[1]

。2008年中国农村居民生活用能消费结构中，秸秆占26%，薪柴占15%，煤占27%，电力占2%，沼气占1%，液化石油气占22%^[2]

。农作物秸秆是我国主要的生物质资源，全国年产约6亿吨，除部分作为造纸原料和饲料外，大约有3亿吨可作为燃料使用，折合1.5亿吨标准煤，林木枝桠和林业废弃物年可获得量约9亿吨，约有3亿吨可作为能源利用，折合2亿吨标准煤^[3]。

传统的农村炉灶大多是手工堆砌的砖石结构，建造技术粗糙，煤炭或生物质由于燃烧不充分，释放出大量浓烟，引起的室内空气污染已经成为威胁人类健康的一大祸患。众多研究也显示室内空气污染与人患肺结核、哮喘、白内障有关系^[4]。在世界范围内，2.5%的全球性疾病产生与室内空气质量（Indoor Air Quality, IAP）有关，以人数计算，相当于每年有160万人死亡^[5]

。根据世界卫生组织的报告，中国每年1.6%的疾病产生与家庭使用固体燃料有关，每年造成超过380000人的过早死亡和320万人伤残调整寿命年的损失^[6]。

随着世界各国对能源效率和空气污染的越来越关注以及中国农村的城镇化和农民生活水平的提高，传统的炊事供暖炉灶和其低效的燃烧方式已经不能满足需要。户用高效低排放生物质炉具不仅可以减少煤炭的消耗，减少污染物排放，改善室内空气质量，而且利用废弃的生物质资源，节省燃料，变废为宝，同时可以提高农民的生活质量，增进人们的身体健康，实现节能减排的同时，促进社会主义新农村建设。

1 生物质炉灶发展历史

我国生物质炉灶的发展经历了初始阶段、改良及推广阶段、技术创新阶段和加速发展阶段4个阶段^[7-8]。

1.1 生物质炉灶发展的初始阶段（1980年以前）

20世纪80年代以前，中国农村绝大多数农户使用手工垒砌的传统旧灶，灶台大多是砖石结构，主要问题是吊火高度高，灶门大、炉膛大，无炉算、无通风道、无烟囱。以至于在使用中各种燃料的燃烧不充分。释放出大量浓烟。不但污染环境，严重损害人的身体健康，同时也损失大量的热能。其热效率很低，只有12%左右。

1.2 生物质炉灶改良及推广阶段（20世纪80~90年代中期）

（1）推广省柴灶

20世纪80年代初期，中国政府有计划地在农村开展改灶节柴试点县工作，并把“改灶节柴”纳入了第六个五年计划，并由政府出资用于宣传和培训，在全国掀起了改灶的高潮。到90年代后期成功推广了2亿台改良炉灶。与旧式柴灶相比，省柴灶优化了灶膛、锅壁与灶膛之间相对距离与吊火高度、烟道和通风等的设计，并增设保温措施和余热利用装置，以达到热效率20%以上的要求。省柴灶的特点是省燃料、省时间，使用方便，安全卫生。

（2）炕连灶

大部分北方地区在对传统炕进行改造，将省柴灶与节能炕连接起来，即节能炕连灶。按其与地面接触的形式，可分

为落地式和架空式。前者与地面接触,炕洞也设在地面上,它是目前使用较多的一种炕;而后者炕洞不直接与地面接触,这不仅可以节省不少建炕材料,而且还可以减少热量从地面直接损失掉,并增加炕在室内的散热面,让更多的热量散到室内。

1.3 生物质炉灶技术创新阶段(20世纪90年代中期~2005年)

(1) 炉灶分离的秸秆气化炉

这种气化炉采用炉灶直接相连方式,气化条件不易控制,产生的可燃气没有经过任何处理,气体中的可燃气成分质量不稳,并且不连续,影响燃用甚至有安全问题。更重要的问题是焦油和含焦油的水无序排放,造成土地和地下水的污染。在燃烧过程中,排放含有大量的有害气体成分,特别是一氧化碳(CO)气体大量超标,农户长期在这种环境下使用,对人体造成极大的损害,在技术不成熟的现阶段不宜推广。

(2) 高效低排放生物质炉具

这种炉具生物质燃料在炉膛里燃烧,为了增加燃烧效率,一次风从炉排底部进入,在炉具上部出口处增加了二次风喷口,这样将固体生物质燃料和空气的气固两相燃烧转化为单相气体燃烧,这种半气化的燃烧方法使燃料得到充分的燃烧,减少了颗粒物和一氧化碳排放,明显的改善了室内空气质量。使用时燃料一般从炉子的上部点燃,自上而下燃烧和空气的流动方向相反。从开始点火到燃尽都可以做到不冒黑烟,可以把焦油、生物质炭渣等完全燃烧殆尽,并且在炊事性能上和煤炉具有较强的竞争力。高效低排放户用生物质炉具应达到下列技术指标:热效率,炊事炉 > 35%,炊事采暖炉 > 60%,采暖炉 > 65%;烟尘排放浓度 < 50mg/m³, SO₂排放浓度 < 30mg/m³; NO_x排放浓度 < 150mg/m³; CO排放浓度 < 0.2%。

1.4 加速发展阶段(2005年至今)

这个阶段炉灶企业生产规模不断扩大。北京、山东、河南、重庆的一些生物质炉具企业年生产能力已超过3万台,生产速度持续增长,商品化程度逐渐增强。并且研发力度不断加强,许多燃煤炉具企业也着手研发生物质炉具,使得技术快速发展。

同时国际合作不断加强。2005年,由壳牌基金会资助,中美合作的中国优秀生物质炉灶评选项目中,共有46家企业参与,19家通过预选,4家获优秀奖。2006年8月,中国的15台生物质炉具出口到印度,由美国和中国的研究组成的团队,在印度中西部城市Pune的Phaltan镇进行实地演示和 market 分析;2007年开始,我国政府实施“一炉一灶”项目,在四川藏区和重庆等地区大规模试点推广生物质炉灶;2007年美国环境保护总署空气合作伙伴中心(PCIA)资助中国农村能源行业协会进行优秀生物质炉灶在我国的推广。2005~2009年,我国炉灶领域代表和专家先后受邀在美国、印度、印度尼西亚、泰国、乌干达等国家参加了多次生物质能源国际会议,介绍我国生物质炉灶技术和发展,促进国家交流与合作。

2 新型生物质炉灶技术的综合评价

2.1 民用柴灶(炉)热性能测试方法

在20世纪80年代,国家计划委员会和农业部组织了3次全国性的省柴灶评比活动。农民技工在评比现场手工垒砌柴灶,然后用统一的测试方法进行测试。此方法就是由中国农业工程研究设计院组织专家起草的柴灶热性能测试方法(草案),后经多次评议后修订为“民用柴灶(炉)热性能测试方法”国家标准(GB 4363)。

这种方法采用煮沸开水试验。通过燃烧,给一定重量的柴草,对一定量的水加热、蒸发,获取柴灶(炉)的有关热性能指标,主要有热效率[指锅水升温时吸收的热量和蒸发的锅水吸收的热量之和与投入灶膛内的柴草热量之比,表示灶(炉)的热利用程度];升温速率[单位时间锅水温度升高的度数,表示灶(炉)的起动力能];蒸发速度[单位时间内锅水蒸发的数量,表示灶(炉)的持续加热性能],至今,测试柴灶(炉)的热性能一直沿用这个标准。

2.2 大气污染物排放和室内空气质量的相关标准

国家对以生物质为燃料的炉具还没有污染物的排放和室内空气质量标准。可以依据和借鉴相关燃煤大气污染物排放和测定的标准,来制定高效低排放生物质炉灶的测试方法。大气污染物排放和室内空气质量的有关环保标准有:GB/T 16157—1996 固体污染源排放中颗粒物测定与气态污染物采样方法, HJ/T

57—2000固定污染源排气中二氧化硫的测定定电位电解法，GB 12205—90人工燃气主组分的化学分析方法，GB 13271—2001锅炉大气污染物排放标准，GB/T 18883—2002室内空气质量标准，GB 9801—88空气质量中一氧化碳的测定的非分散红外法，GB/T 17095—1997室内空气中可吸入颗粒物卫生标准。

2.3 排放标准的评价

中国的生物质商品化炉灶用户都有烟囱。因此对中国户用生物质炉灶的排放指标评价分为两部分。一部分是户用炉灶的室外烟气排放，其排放指标采用北京市锅炉污染物综合排放标准（DB 11/13—2002）。该标准与国际接轨，是目前中国最严格的与炉具有关的大气污染

物排放标准，该标准涉及到烟尘、SO₂、NO_x

、烟气黑度等多项排放规定。另一部分是户用炉灶在使用和添加燃料时室内空气质量的影响，其室内排放指标可使用中国国家标准室内空气质量标准（GB/T 18883—2002）。该标准主要是关于室内空气质量的规定，适用于住宅和办公建筑物，其它室内环境也可参照执行户用生物质炉灶室外和室内排放气体的取样和检测在上述标准中都有详细规定，可参照标准中的有关规定执行。

2.4 综合评价案例

2006年，为促进中国户用高效低排放生物质炉灶技术创新，并向发展中国家推广，由壳牌基金会资助，中国农村能源行业协会（CAREI）和美国加州大学国际健康和发展企业家中心（CEIHD）合作，共同完成了“促进中国和国际高效低排放户用生物质炉灶技术创新和推广”项目。该项目中，中美专家首次采用了炉灶综合评价的方法。综合评价方法包括了技术指标、实际使用效果和企业状况三大类和诸多指标和因素[9]。

2.4.1 技术指标

（1）检测指标

热性能指标：热效率，%。

烟气污染物排放：烟尘排放浓度，mg·kg⁻¹(燃料)；CO/CO₂，%。

室内空气质量：一氧化碳CO，ppm。

（2）产品质量

参照GB 16154—2005《民用水暖煤炉通用技术条件》的有关规定考核炉灶外观设计、制造质量、安全、可靠性、使用寿命等。

（3）技术创新

根据技术创新的水平，如结构设计、材料选择等，由专家评判打分。

2.4.3 企业状况

根据专家考察报告和企业申请资料进行评价。

根据上述的综合评价方法，对我国不同的生物质炉灶进行了综合评价，评选出了中国最优秀的炉灶，为进一步推广提供了可靠的保障。

2.4.4 测试结果

通过环保和热性能测试，我国优秀的高效低排放户用生物质炉灶的热效率是35%~41%，远远高于传统炉灶的10%~12%，排放量也明显降低。表1是这些优秀的高效低排放户用生物质炉灶环保和热性能的平均数据。

表 1 中国生物质炉灶环保和热性能测试的平均数据

项目	生物质炉灶		传统炉灶
	玉米秸秆	秸秆压块	薪柴/干草
热效率/%	35.41		10~12
燃料消耗/kg·h ⁻¹	3.3	2.3	7~8
平均颗粒物排放/mg·m ⁻³	38	25	>120
室内平均CO含量/mg·m ⁻³	8.2	5.0	97

3开发生物质炉灶CDM项目

3.1生物质炉灶CDM项目发展现状

我国的碳交易市场潜

力巨大。截止到2009年9月11日，国家发改委批准的CDM项目为2205个^[10]

。生物质炉灶因其具有明显的节能减排效果和额外性，且有权威的方法学参考，其碳交易的潜力是巨大的。在国际上，乌干达、马里、柬埔寨三国已成功开发了户用生物质炉灶的碳交易项目，但是全部是自愿减排碳交易项目；在我国，生物质炉灶的CDM项目在联合国注册的仍是空白。目前，中国农村能源行业协会、北京化工大学与美国加州大学伯克利分校、美国国际健康与发展企业家中心等组织合作从事生物质炉灶CDM项目的研究和开发，首次对我国多个生物质炉灶在北京、重庆、山西等地进行了大规模的调研和节能减排测试工作，取得了大量的一手资料，为我国成功申请生物质炉灶CDM项目提供了重要的数据保障。

3.2生物质炉灶小规模CDM项目开发关键

3.2.1项目边界确定

对于小规模CDM项目，项目边界内的项目总功率应低于小规模项目的最大限额为45MW，二氧化碳减排量的最大限额为63000吨/年。由于生物质炉灶是户用的、分散的，所以科学的确定项目边界，有利于项目的顺利实施。

3.2.2基准线确定

基准线情景就是合理地代表在没有CDM项目活动时所出现的人为的温室气体排放情景。基准线方法是计算CDM项目减排量的基础。生物质炉灶CDM项目采用的基准线方法学是小规模CDM项目方法学“AMS-I.C.有电或无电的热能产生-版本15”^[11]

，规定对于代替化石燃料技术的可再生能源技术，简化的基准线是没有项目活动时，采用炉灶使用的燃料消耗量乘以被替代的化石燃料的排放因子。

具体过程包括事前调查与燃料使用测试。项目边界内的居民应具有相近的人口情况与经济特征，被调查的农户在所有户主的名单中任意选择。调查内容包括用户的家庭人口、当地典型的炊事习惯、能源使用与不同燃料的混合、炉灶类型和用户能源使用的季节性影响。根据调查信息与用户能源使用研究结果，估算使用生物质炉灶前后的总燃料使用量。

3.2.3额外性分析

(1) 投资障碍

市场上，每台生物质炉灶的价格通常为500~1000元人民币，相对于贫困地区农户的2000~3000元人民币的年收入水平往往较高。如果没有实施CDM项目，农户不能负担炉灶的价格，炉灶的推广无法大规模进行。成功实施CDM项目后，其碳交易的收入可以补贴农户购买生物质炉灶，帮助农户向清洁、高效、经济的炊事方式转变。同时还可以改善贫困用户的社会经济状况。

（2）习俗障碍

由于贫困地区农户长期以来的生活习惯，使用煤炉的农户通常会一直使用煤进行炊事活动。中国的大部分农村家庭，仍在使用20世纪70年代及80年代时推广的由砖块和水泥手工制成的煤炉。这些家庭的几代人都在使用这些煤炉，造成了引进新式炊事技术的习俗障碍。此外，例如山西这样煤资源丰富的地区，人们也不会轻易改用其它形式的燃料。2007年，山西省的全部农户有80%使用煤作为燃料。除非提供有力的经济刺激使农户改用其它燃料，否则煤仍然是人们使用的主要燃料。

3.2.4节能效果测试

在项目边界内选择经过调查的农户，随机抽取一定数目的使用新型生物质炉具和传统煤炉的农户，依据方法学进行厨房性能测试（Kitchen Performance Test, KPT），即对3天内燃料消耗量进行测试取平均值。通过基准线调查信息记录的炉灶类型、燃料类型、每日三餐和每餐人数等多个因素，了解用户的做饭习惯与炉灶使用情况，得出用户使用新旧炉灶前后燃料使用量的准确数据。

3.3减排量

(1) 减排量计算^[11][见式 (1)]

$$ER_y = BE_y - PE_y - LE_y \quad (1)$$

式中， ER_y 为年减排量， tCO_2/y ； BE_y 为基线情景年排放量， tCO_2/y ； PE_y 为项目年排放量， tCO_2/y ； LE_y 为项目年的泄露排放， tCO_2/y 。

(2) 基线情景下的排放量计算[见式 (2)]

$$BE_{thermal,CO_2,y} = (HG_{thermal\ biomass,y} / \eta_{BL,coal}) \times EF_{FF,CO_2} \quad (2)$$

式中， $BE_{thermal,CO_2,y}$ 为项目期限内利用生物质替代的热能基线年排放量， tCO_2/y ； $HG_{thermal\ biomass,y}$ 为项目期限内利用生物质提供的净热能，TJ； EF_{FF,CO_2} 为项目期限内基线情景下使用化石燃料的 CO_2 排放因子， tCO_2/TJ ，从已有可靠的地方或国家资料中获得，否则使用政府间气候变化专门委员会(IPCC)的默认排放因子； $\eta_{BL,coal}$ 为被代替的基线情景下设备（传统煤炉）的效率。

$$HG_{thermal\ biomass,y} = B_{biomass,y} \times NCV_{biomass,y} \times \eta_{PA,biomass} \quad (3)$$

式中， $B_{biomass,y}$ 为项目期限内每年使用的生物质量，t/y； $NCV_{biomass,y}$ 为生物质低位发热量 TJ/t； $\eta_{PA,biomass}$ 为项目使用的生物质炉热效率。

(3) 项目排放量

因为项目活动中燃烧生物质不排放 CO_2 ，所以项目年 CO_2 排放量等于 0，见式 (4)。

$$PE_y = 0 \quad (4)$$

(4) 最终的减排量 [见式 (5)]

$$ER_y = BE_y - LE_y \quad (5)$$

4 建议

气候变化是现在公认的全球和各国一个主要威胁。农村户用传统生物质炉灶使用的煤和生物质的不完全燃烧，还会产生黑炭和其它非 CO_2 的温室气体是影响气候变化的重要部分。大力推广高效低排放生物质炉灶在我国广大农村地区未来一段时期内将是改善农村能源结构、提高农户室内空气质量、减少温室气体排放、促进生物质能源利用的重要手段。

(1) 继续实施国家改灶节柴项目

20世纪80年代实施的国家推广省柴灶工作，取得了巨大的成功。国家现在应该考虑为实现更多的益处，继续实施这项工作，在条件适宜的农村地区大力推广新型的高效低排放生物质炉灶，到2020年农村将会大大减少煤的使用和空气污染，这样可以提高国家能源利用效率，保护冰山和减缓气候的变化，改善农村人口的健康与生活状况。

(2) 提高炉灶热效率

提高燃烧效率，需要从炉灶自身的结构上实现改进。要合理布置和充分利用炊具受热面，并安装小型风机进行适当配风。炉灶应选用陶瓷或优质的金属材料，这样不仅结构坚固，而且可以充分利用释放出的热能。炉灶的制作必须采用规模化生产的方式和使用现代化加工技术，保证良好的质量。

（3）增加炉灶功能性

开发多功能性炉灶，同时实现户用炊事及供暖，使余热得到有效利用。增强自动化程度，减少人为控制，方便使用。美化外观设计，使外表美观、实用。

（4）加速成型燃料发展

好的改进型炉灶对于燃料大小和湿度变化的适应性不是很强，因此达到最好性能需要使用成型燃料，这就需要发展当地生物质燃料成型行业及其配套设备的发展，生物质成型燃料加工设备（成型机）的成熟程度最为关键，因此应下大力气解决目前成型机存在的一系列技术问题。

（5）加强宣传示范工作

进一步宣传高效低排放生物质炉具对节能和改善室内空气质量的重要作用以及提高用户身体健康水平的重要意义，充分调动潜在的用户购买高效低排放生物质炉具的欲望。在我国西部贫困地区，通过典型示范和政府补贴的形式推广优秀的生物质炉灶。

（6）积极开展国际合作

积极联合国际组织及国际专家，努力组建炉灶及农村室内空气质量国际交流网络平台，向其它发展中国家宣传中国生物炉具创新技术和产品，同时增强信息共享、促进相互交流的工作，将优秀生物质炉灶发展推向国际化进程。进一步和国际专家合作开展炉灶性能、排放以及室内空气质量的监测和评估，而这种监测和评估是证明实现一个项目成功的关键。同时积极申请国际碳交易项目，为农民购买生物质炉灶争取更多的补贴资金，促进生物质炉灶的大规模推广。

参考文献

[1]朱四海.中国农村能源政策：回顾与展望[J].农业经济问题，2007，9：20-25.

[2]全国农村可再生能源统计.农业部科技教育司农业部能源环保技术开发中心，.2008，北京.

[3]国家发展和改革委员会.可再生能源中长期发展规划[J].可再生能源，2007，25（5）：2-3.

[4]Zhang Z， Smith K R. Household air pollution from coal and biomassfuels in China： measurements， health impacts， and interventions[J].Environmental Health Perspectives， 2007， 115(6)： 848-855.

[5]Ezzati M， Hoorn S V， et al. Global Burden of Disease and RiskFactors[M]. New York： Oxford University Press， 2006： 255-258.

[6]Sustainable and Efficient Energy Use to Alleviate Indoor AirPollution in Poor Rural Areas in China： Project Completion Report.WHO report， 2007.

[7]郝芳洲，魏秀青.加速户用高效低排放生物质炉具在我国农村的推广应用[J].可再生能源(特刊)，2007，12.

[8]Chen Xiaofu， Liu Guangqing. Development and commercialization of improved stoves in China[J]. Glow， 2007， 39.

[9]《促进中国和国际高效低排放户用生物质炉灶技术创新和推广项目最终报告》.中国农村能源行业协会，2007，北京.

[10]中国CDM项目统计.<http://cdm.ccchina.gov.cn/WebSite/CDM/UpFile/File2342.pdf>.

[11]小规模CDM方法学：有电或无电的热能产生-版本15（AMS-I.C.Ver.15）.http://cdm.unfccc.int/methodologies/DB/F6QAQ320VYBWF3BKRSKIT48HRD5HLY/view.html.

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/84870.html>