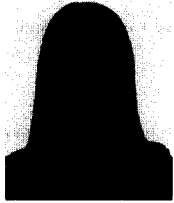


doi:10.3969/j.issn.0253-2417.2016.02.020

# 基于学习曲线的生物质成型燃料补贴政策研究

许洁<sup>1,2</sup>, 袁振宏<sup>1</sup>, 姜洋<sup>1</sup>, 李伟振<sup>1</sup>, 马隆龙<sup>1\*</sup>

(1. 中国科学院广州能源研究所, 广东广州 510640; 2. 中国科学院可再生能源与天然气水合物重点实验室, 广东广州 510640)



XU Jie

**摘要:** 通过对中国生物质成型燃料产业的调研与分析, 结合该产业的发展轨迹和国家相关的规划目标, 构造中国生物质成型燃料的学习曲线, 利用该曲线来预测中国固体成型燃料成本的变化趋势。在此基础上, 研究如果2020年我国生物质成型燃料利用量要达到5 000万吨的规模, 应该如何量化并制定政府的补贴政策。结果表明, 若要在2020年实现将生物质成型燃料的商业化并达到5 000万吨的利用量, 生物质成型燃料的成本需降低至462元/吨, 此时学习系数为0.509, 学习率为70.2%。为促进生物质成型燃料的技术进步和产业化发展, 需要在2020年以前对该产业进行财政补贴, 最大补贴规模为2016年的6亿元, 从2012年到2020年的累计补贴为41.24亿元。

**关键词:** 生物质成型燃料; 学习曲线; 补贴政策

**中图分类号:** TQ35; TK01

**文献标识码:** A

**文章编号:** 0253-2417(2016)02-0134-05

**引文格式:** 许洁, 袁振宏, 姜洋, 等. 基于学习曲线的生物质成型燃料补贴政策研究[J]. 林产化学与工业, 2016, 36(2): 134-138.

## Study on Subsidy Policy Based on Learning Curve for Biomass Molding Fuels in China

XU Jie<sup>1,2</sup>, YUAN Zhen-hong<sup>1</sup>, JIANG Yang<sup>1</sup>, LI Wei-zhen<sup>1</sup>, MA Long-long<sup>1</sup>

(1. Guangzhou Institute of Energy Conversion, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China; 2. Key Laboratory of Renewable Energy and Gas Hydrate, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China)

**Abstract:** Through the comprehensive investigation and analysis of the biomass molding fuels (BMF) industry in China, with combination of the development track and the related targets of the government for this industry, the learning curve for BMF was developed and validated in this study. On the basis of this learning curve, the BMF costs in the future were forecasted, and the formulation of subsidy policy was investigated to achieve the commercialization and utilize the production of 50 million tons BMF in the year of 2020. The results showed that in order to realize the targets, the BMF cost should be lowered to 462 CNY (Chinese Yuan)/ton, at which scenario the learning coefficient is 0.509 and the learning rate is 70.2%. For promoting the technological progress, the government should subsidize BMF industry before 2020, the maximal annual subsidy is about 600 million CNY in 2016, and the total subsidy from 2012 to 2020 is about 41.24 billion CNY.

**Key words:** biomass molding fuels; learning curve; subsidy policies

在能源危机与全球变暖的背景下, 生物能源利用技术的开发对于替代化石能源、实现人类社会的可持续发展具有非常重要的现实意义和长远意义。在这一背景下, 大力调整能源结构, 开发以绿色、清洁、低碳为核心的可再生替代能源, 已成为当务之急。生物质成型燃料(BMF)在供热、供气领域可以大量替代煤炭、石油和天然气等化石能源, 在有效供能的同时, 能够显著减少污染, 实现CO<sub>2</sub>零排放, 符合当前社会可持续发展的理念。与许多其他新兴的可再生能源利用技术相比, 生物质成型燃料供热、供气以

收稿日期: 2014-12-10

基金项目: 联合国开发计划署-中国生物质成型燃料示范项目(00068721-CPR/13/304); 可再生能源与能源效率伙伴关系计划项目(108030134); 广东省中国科学院全面战略合作项目(2012B09040025)

作者简介: 许洁(1983—), 女, 山东菏泽人, 助理研究员, 博士, 主要从事生物质能源政策领域研究

\* 通讯作者: 马隆龙(1963—), 男, 研究员, 博士, 研究领域为生物质能源; E-mail: mall@ms.giec.ac.cn.

具有便于运输、技术成熟、产业化程度高、产能稳定以及应用贴近终端用户的特点,是短期乃至中期内比较理想的战略选择。然而目前我国成型燃料产业发展远远落后于预期,制定合理的补贴政策是当务之急。本研究通过构造中国(港澳台除外,下同)生物质成型燃料的学习曲线,预测其成本的变化趋势,并提出了相应的政府补贴规模,旨在促进中国生物质成型燃料的产业化发展。

## 1 中国生物质成型燃料产业现状

近年来生物质成型燃料产业在世界范围内都得到了快速的发展。2006年,全世界生物质成型燃料年产量仅有600~700万吨,但是至2010年,全世界生物质成型燃料产量已达1430万吨<sup>[1-4]</sup>。欧洲生物质成型燃料市场增长尤其迅速,根据欧盟相关研究报告<sup>[5]</sup>,2008年欧洲30个国家的成型燃料消费量已经达到890万吨;2011年,欧洲生物质成型燃料供暖已经达到供暖能源需求的12.9%,而且还在进一步增长。

相比而言,我国的生物质成型燃料无论在技术水平还是在产业规模上都落后于发达国家<sup>[6-7]</sup>。2011~2012年,对全国7个地区的100多家生物质企业进行了问卷调研,并抽取典型企业进行实地考察。调查发现,至2012年全国生物质成型燃料产量约为350万吨,不到全国热力需求的1%,离《可再生能源中长期发展规划》中设立的2020年生物质成型燃料年利用量5000万吨的目标相距甚远。同时,全国可被用于生产生物质成型燃料的资源总量约合2.2亿吨标准煤,而全国生物质成型燃料潜在的供热市场约合3亿吨标准煤。然而,由于目前成型燃料产业规模太小,无法形成由规模效应而带来的成本优势,目前的技术成本无法和燃煤抗争,只能靠部分区域的禁煤措施来推广成型燃料的应用,成型燃料产业的潜力远未发挥。表1为2008~2011年我国各地区生物质成型燃料产量。

表1 2008~2011年全国生物质成型燃料年产量

Table 1 The annual production of BFM in China 2008-2011

年份 year	不同区域产量 production in different areas							全国 total
	华中 central China	华东 east China	华南 south China	西南 southwest China	华北 north China	东北 northeast China	西北 northwest China	
2008	6.60	7.60	13.30	0.10	0.80	1.30	2.60	32.30
2009	19.24	24.64	37.18	1.11	3.90	5.20	6.76	98.02
2010	28.34	34.41	39.26	1.17	7.67	11.05	12.09	133.99
2011	27.10	108.90	50.80	1.00	69.50	101.90	9.80	369.00

我国生物质成型燃料的政策主要有《秸秆能源化利用补助资金管理暂行办法》<sup>[8]</sup>对每吨原料给予110~140元的补贴,《国家税务总局关于以三剩物和次小薪材为原料生产加工的综合利用产品增值税即征即退政策的通知》<sup>[9]</sup>以及《资源综合利用企业所得税优惠目录》<sup>[10]</sup>规定的税收减免,《关于可再生能源发展专项资金暂行管理办法》<sup>[10]</sup>规定的贴息贷款等。在这几类激励政策之中,原料补贴被证明为最有效的手段<sup>[11]</sup>。从表1还可以看出,2008年实行秸秆能源化补贴政策之前,我国生物质成型燃料的产量约为32.3万吨;而2011年,在此政策实行3年之后,生物质成型燃料行业的产量增加了10倍,达到了369万吨,这同样也说明了补贴政策具有非常显著的效果。如何通过补贴政策扩大规模,降低成本,来达到《可再生能源中长期发展规划》中所设立的行业目标,是此研究所关心的首要问题。

## 2 学习曲线模型

新能源产业在发展初期,技术成本往往很高,其成本下降趋势可以被学习曲线所描述<sup>[12-14]</sup>。我国生物质成型燃料产业起步不久,还在从小规模、间断式、家庭作坊式生产向着集成化、连续式、大规模生产线发展,随着生产过程中生产工艺的逐渐成熟和改进及生产管理经验的逐渐积累,其技术成本还有很大的下降空间。成本下降到市场可以接受的水平,也是商业化必备的条件之一。成本下降过程是沿着学习曲线进行的。假定连续式大规模生产的固体成型燃料成本将随着累积市场容量(年产量)的增加沿学习曲线而下降。其演变趋势可以用极限效率模型描述<sup>[15]</sup>,如下式:

$$C = C' + \Delta C \times (N/N_0)^{-\beta} \quad (1)$$

式中： $C$ —固体成型燃料长期边际成本，元/吨； $C'$ —固体成型燃料最终可达到的最低极限成本，元/吨； $\Delta C$ —初始成本与极限成本的差额，即生产技术成本的偏移量，元/吨； $N$ —固体成型燃料的累计规模，吨/年； $N_0$ —初始规模，吨/年； $\beta$ —成本的学习系数。

### 2.1 初始成本和初始规模

取2011年为基准年，将起始规模设定为2011年的年产量，即369万吨，在此以2011年全国秸秆类固体成型燃料的平均生产成本为初始价格，经全国多家企业调研后计算平均价格，该价格约为592元。

### 2.2 最低成本

实际上固体成型燃料的经济成本降低到一定程度后下降速度就会变慢，不会无限制地降下去。公式(1)所示的成本有一个最低极限值，固体成型燃料的成本将随着规模增加，逐渐向该极限值逼近。

由于国内外很少有关于固体成型燃料技术发展的学习曲线研究，因此很难找到一定的参考依据来设置相应参数，但是结合固体成型燃料在国外的发展趋势，可以认定我国生物质成型燃料产业在短时期内有能力得到快速发展，乃至商业化。由于缺少相关研究资料及数据，本研究参数选择主要还是依据专家判断。从技术成本优化选择的角度来看，如果中国生物质固体成型燃料的成本可以降至与燃煤相等的水平，则具有市场竞争优势，可以被视为成功商业化。目前我国生物质成型燃料的热值约为14.7 MJ/kg，据调查，同热值的煤平均价格为462元/吨。因此将固体成型燃料的最低极限成本假设为同等热值的燃煤价格的90%，即415元/吨。

### 2.3 偏移量系数

如果要达到《可再生能源中长期发展规划》中的规定，2020年产量为5000万吨，即市场容量已经属于商业化水平，意味着届时固体成型燃料价格成本需要降至与燃煤相等的水平，即每吨生物质成型燃料为462元，代入式(1)，可得

$$462 = 415 + (592 - 415) \times (5000/369)^{-\beta} \quad (2)$$

由式(2)可以求得学习系数( $\beta$ )为0.509。学习率与学习系数的大小相关，反映了产业规模翻倍时技术成本降低的程度，学习率越小，斜率越陡，说明学习效率越强，技术成本的下降越快。在极限效率模型中，学习率的方程为：

$$R_L = (C_2 - C') / (C_1 - C') \times 100\% \quad (3)$$

式中： $R_L$ —学习率，%； $C_2$ —规模翻倍后的成本，元/吨； $C_1$ —规模翻倍前的成本，元/吨。其中， $C_2 = C' + (C_1 - C') \times (2N/N)^{-\beta}$ 。

将计算得到的学习系数，代入式(1)和(3)，可以解出固体成型燃料产业的学习率为70.2%。

### 2.4 中国固体成型燃料学习曲线与验证

综合上述最低成本与学习率，中国的固体成型燃料学习曲线可表示为式(4)：

$$C = 415 + 177 \times (N/369)^{-0.509} \quad (4)$$

2015年全国生物质成型燃料的产量为630万吨，将其代入式(4)，计算可得，2015年生物质成型燃料价格为549.81元/吨。

根据文献<sup>[11]</sup>，2015年秸秆固体成型燃料的价格如表2所示。由表2可知，秸秆固体成型燃料的全年平均价格为621.21元/吨，将此价格以贴现率3.25%<sup>[16]</sup>进行换算为2011年不变价，如式(5)，则为546.61元/吨。该价格与学习曲线所计算得到的值非常接近，因此可以证明该学习曲线的描述合理。

$$C_n = C_m \times (1 + d)^{n-m} \quad (5)$$

式中： $C_n$ —换算为第 $n$ 年时不变价，元/吨； $C_m$ —第 $m$ 年的名义价格，元/吨； $d$ —贴现率。

表2 2015年全国生物质成型燃料价格<sup>[11]</sup>

Table 2 BFM prices in different regions of China in 2015

不同区域价格 prices in different areas/(yuan·t <sup>-1</sup> )							全年平均价格/(yuan·t <sup>-1</sup> ) average price
华中 central China	华东 east China	华南 south China	西南 southwest China	华北 north China	东北 northeast China	西北 northwest China	
559.00	676.00	715.00	565.50	559.00	637.00	637.00	621.21

### 3 技术成本下降预测

#### 3.1 中国生物质成型燃料产量预测

根据《可再生能源发展“十二五”规划》中设定的目标:到2015年,生物质成型燃料利用规模达到1 000万吨;以及《可再生能源中长期发展规划》中设定的目标:到2020年,生物质固体成型燃料年利用量达到5 000万吨,结合近年来固体燃料产业的发展趋势,可以拟合出中国生物质固体成型燃料必须要达到的年产量。

中国固体成型燃料年产量预测曲线如图1所示。将2008~2011年的年产量与计划目标相结合,通过最小二乘法拟合后,2012~2020年间每年的年产量可按式(6)计算,结果见表3。

$$Y = 102.91 \times e^{0.3236(x-2008)} \quad (6)$$

式中:Y—中国固体成型燃料年产量,万吨;x—具体年份。

#### 3.2 中国生物质成型燃料价格预测

将3.1节得到的中国生物质固体成型燃料预计年产量,代入式(4)中,则可得到未来生物质固体成型燃料的价格预测,结果见表3。

表3 中国固体成型燃料预期年产量和预期价格

Table 3 The forecast of BMF annual production and cost in China

年份 year	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
产量/万吨 annual production	375.50	518.97	717.27	991.34	1370.12	1893.64	2617.19	3617.20	4999.31
价格 price/(yuan·t <sup>-1</sup> )	590.43	563.79	541.20	522.03	505.78	491.99	480.30	470.38	461.97

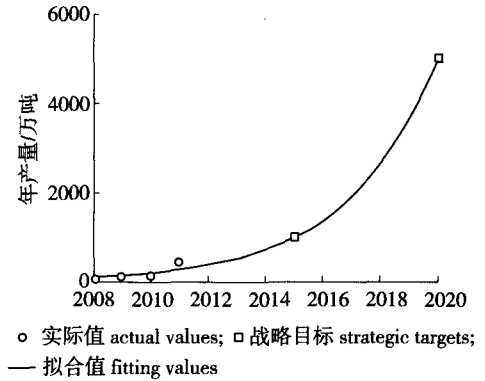


图1 中国固体成型燃料年产量预测曲线  
Fig.1 The future forecast of BMF annual production in China

### 4 政策补贴规模

根据前面的分析,为了促使我国生物质固体成型燃料成本下降到可以与普通燃煤竞争的程度,需要按照学习曲线预示的规律,持续增加规模。生物质固体成型燃料的学习成本,即技术成本高出煤价的部分由政府的财政补贴政策来解决。根据3.1节和3.2节得到的生物质成型燃料年产量以及价格数据,可计算出政府每年的补贴额度,结果见表4。从表中可以看出,在2016年以前,尽管我国生物质固体成型燃料的成本随着技术的进步而减小,但是随着产量的增大,政府补贴还是呈现上升趋势,并在2016年达到最大值6亿元,远远小于目前生物质发电行业的补贴规模(2014年约140亿元)。之后随着生物质固体成型燃料价格与燃煤价格差异的缩小补贴慢慢减小,并于2020年停止补贴。在2020年以后,该产业将会产生能源利用的正经济效益。从2012年到2020年的累计补贴为41.24亿元。

表4 中国固体成型燃料逐年政策补贴规模

Table 4 The annual subsidy of BMF in China

年份 year	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
补贴值 subsidy/亿元	4.82	5.28	5.68	5.95	6.00	5.68	4.79	3.03	0.00

### 5 结论

5.1 基于学习曲线的研究模式通过对历史数据的分析和产业现状的调研,得到中国生物质成型燃料的学习曲线,利用《可再生能源中长期发展规划》中设立产业规模的目标来反推出中国生物质成型燃料的学习率,并推算达到此学习率时的学习成本。从而计算出能够完成目标时的政府补贴规模。

5.2 由学习曲线方法计算得出,若要达到2020年5 000万吨的利用量,中国生物质成型燃料的学习率为70.2%,经实证分析该学习率较为合理。若要达到此学习率,政府需要对该产业支付学习成本,在2020年以前每年都要对此产业进行财政补贴,最大补贴规模为2016年的6亿元,从2012年到2020年的累计补贴为41.24亿元,远远小于目前生物质发电行业的补贴规模。以我国目前的经济实力,承担这种规模的补贴额度,以促进生物质成型燃料行业的快速发展并达到完全商业化,应该是说完全可行的。

#### 参考文献:

- [1] PA A, BI X T, SOKHANSANJ S. Evaluation of wood pellet application for residential heating in British Columbia based on a streamlined life cycle analysis[J]. *Biomass and Bioenergy*, 2013, 49(2): 109-122.
- [2] STELTE W, HOLM J K, SANADI A R, et al. Fuel pellets from biomass: The importance of the pelletizing pressure and its dependency on the processing conditions[J]. *Fuel*, 2011, 90(11): 3285-3290.
- [3] CASTELLANO J M, GÓMEZ M, FERNÁNDEZ M, et al. Study on the effects of raw materials composition and pelletization conditions on the quality and properties of pellets obtained from different woody and non woody biomasses[J]. *Fuel*, 2015, 139: 629-636.
- [4] AGAR D, GIL J, SANCHEZ D, et al. Torrefied versus conventional pellet production: A comparative study on energy and emission balance based on pilot-plant data and EU sustainability criteria[J]. *Applied Energy*, 2015, 138: 621-630.
- [5] SIKKEMA R M S, JUNGINGER M, HIEGL W. Las report on producers, traders and consumers of wood pellets[R]. Vienna: HFA Holzforchung Austria, 2009.
- [6] 许洁, 袁振宏, 刘姝娜, 等. 中国生物质能源发展现状、障碍与对策[J]. *太阳能学报*, 2012, 33(S1): 122-128.  
XU Jie, YUAN Zhen-hong, LIU Shu-na, et al. The development status, obstacles of biomass industry in China and countermeasures[J]. *Acta Energetica Solaris Sinica*, 2012, 33(S1): 122-128.
- [7] 苏俊林, 赵晓文, 王巍. 生物质成型燃料研究现状及进展[J]. *节能技术*, 2009, 27(2): 117-120.  
SU Jun-lin, ZHAO Xiao-wen, WANG Wei. Research status and development of the biomass briquette fuel[J]. *Energy Conservation Technology*, 2009, 27(2): 117-120.
- [8] 财政部秸秆能源化利用补助资金管理暂行办法[EB/OL]. (2008-10-30) [2015-12-31]. [http://www.mof.gov.cn/zhengwuxinxi/caizhengwengao/caizhengbuwengao2008/wengao200811qi/200903/t20090304\\_118500.html](http://www.mof.gov.cn/zhengwuxinxi/caizhengwengao/caizhengbuwengao2008/wengao200811qi/200903/t20090304_118500.html) 2014-10-01.
- [9] 财政部, 国家税务总局关于以三剩物和次小薪材为原料生产加工的综合利用产品增值税即征即退政策的通知[EB/OL]. (2006-08-03) [2015-12-31], <http://www.chinatax.gov.cn/2013/n1586/n1593/n1620/n1625/c108322/content.html>.
- [10] 国家税务总局. 关于公布资源综合利用企业所得税优惠目录(2008年版)的通知[EB/OL]. (2008-08-20) [2015-12-31]. <http://www.chinatax.gov.cn/2013/n1586/n1593/n1594/n1599/c80353/content.html>.
- [11] XU Jie, CHANG Shi-yan, YUAN Zhen-hong, et al. Regionalized techno-economic assessment and policy analysis for biomass molded fuel in China[J]. *Energies*, 2015, 8(12): 13846-13863.
- [12] 郑照宁, 刘德顺. 中国光伏组件价格变化的学习曲线模型及政策建议[J]. *太阳能学报*, 2005, 26(1): 93-98.  
ZHENG Zhao-ning, LIU De-shun. Learning curve model of solar PV modules and policy implication for China[J]. *Acta Energetica Solaris Sinica*, 2005, 26(1): 93-98.
- [13] 杨玉凤, 吴秀芹, 卜华. 学习曲线在成本预测中的应用[J]. *淮海工学院学报: 自然科学版*, 2000, 9(2): 74-76.  
YANG Yu-feng, WU Xiu-qin, BU Hua. The application of learning curve in cost estimation[J]. *Journal of Huaihai Institute of Technology: Natural Sciences Edition*, 2000, 9(2): 74-76.
- [14] 牛衍亮, 黄如宝, 常惠斌. 基于学习曲线的能源技术成本变化[J]. *管理工程学报*, 2013, 27(3): 74-80.  
NIU Yan-liang, HUANG Ru-bao, CHANG Hui-bin. The change of energy technology cost based on learning curve[J]. *Journal of Industrial Engineering and Engineering Management*, 2013, 27(3): 74-80.
- [15] 蒲晓璞, 樊京春, 王永刚. 生物质能发电技术学习曲线和发电政策相互影响分析[J]. *可再生能源*, 2009, 27(3): 84-88.  
PU Xiao-pu, FAN Jing-chun, WANG Yong-gang. Effect on biomass generation power from the learning curve and policy[J]. *Renewable Energy Resources*, 2009, 27(3): 84-88.
- [16] FRED, Federal Reserve Bank of St. Louis, International Monetary Fund. Interest rates, discount rate for China[EB/OL]. (2015-07-16) [2015-12-31]. [https://research.stlouisfed.org/fred2/series/INTDSRCNM193N/\[M\]](https://research.stlouisfed.org/fred2/series/INTDSRCNM193N/[M]).