

## 生物质燃料供应链物流成本的文献比较研究

苏世伟<sup>1,2</sup>, 陈妍<sup>1</sup>, 聂影<sup>2,3</sup>

(1.南京林业大学经济管理学院, 江苏南京210037; 2.国家林业局林产品经济贸易研究中心, 江苏南京210037; 3.金陵科技学院, 江苏南京211169)

摘要：物流成本分析与优化问题是供应链环节中各企业所关注的核心，对于生物质燃料这一新兴产业来说更是重中之重。依据供应链环节和生物质原料生命周期理论将其物流成本分为收集成本、存储成本和运输成本3类进行研究，得出以下结论：（1）生物质燃料供应链物流成本的研究对象与研究区域受到中国独特的农业结构与经营模式的限制；（2）国外研究学者对物流成本的量化研究渐趋成熟，而国内还处于方法借鉴与案例分析的阶段，未来研究需要结合中国国情，构建体现中国典型农村区域及生物质能源产业特征的数量模型与研究方法；（3）生物质燃料原材料特殊属性以及运输收集过程的不确定因素对物流成本影响相关文献研究欠缺，这是国内学者今后可能的研究方向。

生物质燃料作为一类新能源，可以缓解不可再生资源大量消耗和温室气体排放的严重问题。生物质燃料生产与使用历经3代产品，第1代

是生物乙醇和生物汽油；第2代是纤维素乙醇燃料；第3代是藻类生物质燃料<sup>[1-3]</sup>

。国内外相当重视生物质燃料的产业化发展，2000年美国国会通过《生物质R&D法案》，规定到2220年生物质制取交通燃料要占燃料消费量的10%。欧盟在2002年发表绿皮书《朝着欧盟能源供应安全的战略》中指出，到2220年替代燃料将占到汽车燃料的20%，其中生物质燃料占到8%<sup>[4]</sup>。

我国生物质燃料的原料主要是稻麦秸秆等农作物剩余物质和林木生物质剩余，其大部分应用于沼气供应、生物质发电供应以及固体成型燃料和生物液体燃料供应。其中，生物质发电发展规模迅速，装机规模以每年30%以上的速率增长，2013年农林生物质直燃发

电项目并网容量420万kW，生物质发电装机达到850万kW<sup>[5]</sup>

。国家林业局在《全国林业生物质能发展规划（2211-2220年）》中估算我国林木生物质能源潜力约180亿t，中国生物质能源产业的发展前景可观<sup>[6]</sup>。

我国生物质能源产业发展多年，但存在产业规模小和生产成本高的问题。产业规模化发展需求与原料零散供应的现实矛盾，使得中国生物质燃料供应链物流成本研究显得尤为重要。本研究依据生物质燃料的生命周期，将物流成本分解为收集成本、存储成本和运输成本3个部分，期望通过对国内外文献的归纳和总结，梳理3个类型成本的研究进展，指明生物质燃料供应链物流成本的研究趋势，为我国生物质燃料供应链的物流成本相关研究提供参考。

### 1 生物质燃料供应链物流成本的衍生

#### 生物质燃料供应

链按照原料可分为油类、含糖或淀粉作物、木质纤维素等原料为主的供应链类型<sup>[7]</sup>

，每种供应

链基本包含收割、收集

、打包、运输、烘干、储存和预处理环节。笔

者根据国外学者Rimppi等<sup>[8]</sup>和国内学者张晟义<sup>[9]</sup>

对生物质燃料供应链的相关研究，将生物质燃料生命周期划分为原料收集与选择、原料加工及精炼和原料使用途径3个阶段，相应的涉农供应链物流成本分解为收集成本、存储成本和运输成本，详见图1。

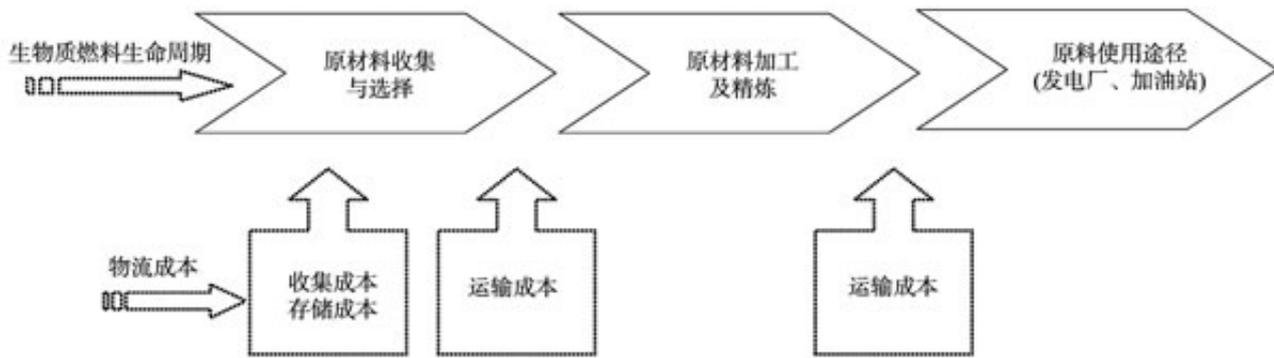


图1 生物质燃料供应链流程及物流成本衍生

收集成本是农林废弃物、禽畜粪便以及能源植物等生物质燃料原材料收集所耗费的成本，因为原材料的资源密度较低，收集成本是生物质燃料物流成本的重要影响因素<sup>[10]</sup>。

运输成本是从原材料收集地到精炼加工厂，再到发电厂或加油站等一系列过程中涉及有关运输方式产生的成本。在供应链管理中，运输工具选择和运输成本受到技术、社会、环境、法律以及政策框架的影响。另外，运输成本的影响因素还与运输原材料的特性、运输工具的承载力和仓库加工点之间的距离相关。

存储成本又称为库存成本，是生物质燃料原材料收集后进行存储贮藏过程中所产生的成本费用。农业生物质原材料只有在其收获季节才可获得，在时间上限制了生物质燃料的原料收集存储<sup>[11]</sup>。另外从设备和劳动力角度来看，原材料资源需求呈现出季节性变动，进而存储空间上的成本增加。

## 2国内外研究模型与研究方法比较

### 2.1国外相关定量研究文献

由于物流成本是供应链研究的重要部分，国内外学者通过建立数学模型和定量研究方法实现物流成本的优化，特别是生物质能源产业化水平较高的国外研究学者，在生物质能源供应链的物流成本定量研究方面贡献突出，笔者在Science Direct中以“Biofuel+supply chain”为关键词检索出具有代表性的1篇英文文献。

在收集成本的研究中，Thorsell等通过计算农业机械成本，运用计算机程序模拟原材料的收集成本<sup>[12]</sup>；Mantovani等运用SLAM仿真语言对收集成本进行了研究分析<sup>[13]</sup>；Higgins等结合澳大利亚的生物质燃料基本现状采用参与性研究方法，最终得出可以通过改进收租的轮班制度和增加运输基础设施的利用率来减少收集成本<sup>[14]</sup>。

Gronalt等创建新型模拟供应网络研究林业生物质对运输成本，估算了从林地—储存基地—精炼厂的运输过程中所有成本<sup>[15]</sup>；而Ravula等运用离散事件的计算机仿真程序和背包模型，以棉花为研究对象，模拟影响棉花物流成本的主要参数，确定了运输系统下一阶段各类参数<sup>[16]</sup>。

鉴于生物质燃料原材料季节性和不易存储的特点，国外相关存储成本的研究较为欠缺。Gmdo等曾利用动态规划模型，通过控制库存变量的方式确立生物量收集策略以实现物流成本的优化<sup>[17]</sup>。

### 2.2国内相关定量研究文献

与国外文献相比，国内研究主要采用定性描述方法，也有借鉴和参考国外研究学者的定量研究方法。笔者以“生物质燃料+供应链”为关键词检索“中国学术期刊数据库”，选择在中国生物质燃料供应链物流成本研究方面具有代表性的7篇文献（表1）。

表1 国内生物质燃料供应链物流成本模型研究统计

成本类型	作者	文献	时间	研究方法	研究结果
收集成本	邢爱华等 <sup>[18]</sup>	《生物质资源收集过程成本、能耗及环境影响分析》	2008年	建立秸秆收集过程成本、能源消耗和污染物排放的数学模型,并对资源岛的秸秆收集成本和能耗进行了敏感性分析	确定秸秆的临界收集量
	曹溢等 <sup>[19]</sup>	《秸秆发电过程中原料收集的成本分析》	2012年	秸秆收集成本计算的模型,并结合实际案例对该模型进行验证和敏感性分析	如何降低收集成本
	檀勤良等 <sup>[20]</sup>	《生物质发电燃料收集成本测算模型及实证分析》	2014年	建立了秸秆成本测算模型并对收集成本进行敏感性分析	收集半径和经纪人的数量对秸秆收集成本的影响较大
	刘岗等 <sup>[21]</sup>	《生物质秸秆收集成本研究及实证分析》	2006年	定积分微元分析法	提出可以通过提高生物质转化率来解决成本过高问题
运输成本	鲍香台等 <sup>[22]</sup>	《生物质能供应链收集运输方式的仿真优化研究》	2012	运用Arena仿真模型对从收集点到中转站和从中转站到生物质电厂的运输过程进行仿真模拟	压缩是预处理中必要环节,运输方式的选择也很重要
	吴金卓等 <sup>[23]</sup>	《秸秆发电企业燃料供应成本优化模型及应用》	2015	建立了集中型集收储运为一体的成本优化模型	合理选择秸秆燃料收集站的地址以减少运输距离
	俞宏德等 <sup>[24]</sup>	《生物质电厂燃料供应系统的模拟与优化》	2011	利用数学模型建立燃料收集成本和收购站数量之间的函数关系,再用GIS模型建立了一种新型的选址方法,最后用EXTEND软件建立了从收购站到电厂之间的燃料运输、处理等的相关物流过程的离散仿真模型	最优运输方案
存储成本	常春阳 <sup>[25]</sup>	《生物质直燃发电燃料供应链库存系统优化》	2014	建立仓库规模动态规划模型和多种生物质库存控制的非线性规划模型	提供电厂最终可以选择的库存方案

邢爱华等根据我国秸秆生物质资源呈现岛式分布的特点,建立了秸秆收集过程成本、能源消耗和污染物排放的数学模型,并对秸秆收集成本和能耗进行敏感性分析,确定秸秆的临界收集量<sup>[18]</sup>;曹溢等根据生物质原料供应链原理,建立了相对合理的秸秆收集成本计算模型,结合实际案例对模型进行验证和敏感性分析,最终提出降低收集成本的对策建议<sup>[19]</sup>

;檀勤良等考虑农户个人收集和经纪人收集2种模式,建立秸秆成本测算模型,并对收集成本进行敏感性分析,发现收集半径和经纪人数量是秸秆收集成本主要影响因素<sup>[20]</sup>

;刘岗等运用定积分微元分析法研究生物质秸秆的收集成本,发现收集成本过高是生物质气化发电面临的主要问题,提出可以通过提高生物质转化率来解决这一障碍<sup>[21]</sup>。

相关的运输成本文献研究中,鲍香台等运用Arena仿真模型模拟从收集点 中转站 生物质电厂的运输过程的所有成本,研究了原料压缩环节、预处理方式和车辆参数的变化对运输系统产生的不同影响,得出压缩是预处理中必不可少的环节,高效运输方式的选择也至

关重要,并且压缩比要适合当地情况而确定<sup>[22]</sup>

;吴金卓等建立了集收、储、运为一体的生物质燃料供应链的集中型成本优化模型,得出秸秆燃料收集站地址的合理选择和运输距离的减少是运

输成本的主要影响因素,而运输车辆类型对成本影响相

对较小<sup>[23]</sup>

;俞宏德建立了燃料收集成本和收购站数量之间的函数关系,运用GIS模型确定收购站的选址方法,并利用EXTEND软件计算了从收购站到电厂之间原料处理、燃料运输等相关物流过程的离散仿真模型,最终得出最优运输方案<sup>[24]</sup>。

同样,国内相关存储成本的研究也很欠缺。常春阳建立仓库规模动态规划模型,应用SLP方法对仓库平面布局设计并确定仓库结构,通过多种生物质库存控制非线性规划模型,制订生物质发电厂可以选择的系列库存方案<sup>[25]</sup>。

### 3物流成本影响因素与研究对象的比较分析

物流成本类型的不同导致了成本影响因素也不相同,国内外农业林业种植情况以及地域地貌的的差异性使得国内外研究对象存在明显差异。笔者进一步对上述16篇英文文献和7篇中文文献的成本影响因素和研究对象进行对比,得出以下结论(表2)。

表2 国内与国外各类成本主要影响因素与研究对象比较

主要成本影响因素	地区	研究对象
原料类型	国内	秸秆、玉米、桉树
	国外	木质纤维苯酚、玉米、低品质甘草和木屑、甘蔗
运输方式	国内	运输工具类型、燃料收集站数量与收集半径
	国外	运输工具能力、生物质能源系统、国际运输概念
存储方法	国内	存储方式、存储地址的布局
	国外	收获季节、存储方式

在收集成本的相关研究中，我国学者主要以秸秆原料的收集成本为研究对象，这是由于我国的农业种植结构与国外存在很大差异。我国

每年各类农作物秸秆产量高

达6亿~7亿t，其中南方地区以麦秸和稻秸为主，占40%

~60%<sup>[26]</sup>

。国内也有少部分研究涉及到其他生物质原料，陈辉在研究中比较了不具有季节收购性的桉树、具有季节性的玉米秸秆原材料以及堆积密度大的蔗渣、稻壳原材料的收集成本<sup>[27]</sup>

。国外种植结构多元化使得研究对象也更丰富，包括木质纤维、玉米及玉米秸秆、低品质甘草和甘蔗等。Thorell等对木质纤维苯酚的收集成本加以研究<sup>[12]</sup>

；Mantovani等对玉米、

低品质甘草和木屑这3种生物质燃料原材料的收

集成本进行了研究分析<sup>[13]</sup>

；HigginS等结合澳大利亚的生物质燃料基本现状，研究了澳大利亚主要生物质燃料原料——甘蔗<sup>[14]</sup>。

学者们在运输成本方面集中研究运输过程中的影响变量。Caputo等从特定的车辆运输成本、车辆能力等变量进行研究，以评估物流运输成本对生物质能源行业利润的影响<sup>[11]</sup>

；JekinS等以生物质能源系统为切入点，分析不同的生物质燃料原材料收集和运输成本，确定不同的生物质能源系统合理的成本构成比例<sup>[28]</sup>

；Hamel

inck等创立了国

际运输物流的概念，并研发了一

种工具对生物质能源供应链的关键影响参数进行评估<sup>[29]</sup>

。国内陈辉研究不同运输材料与运输工具对运输成本的影响<sup>[27]</sup>

；鲍香台等研究不同预处理方式和车辆参

数变化对整个运输系统产生的影响<sup>[22]</sup>

；吴金卓等指出要合理选择秸秆燃料收集站地址以减

少运输距离<sup>[23]</sup>；俞宏德对收购站数量和燃料运输成本的关系进行研究<sup>[24]</sup>。

在存储成本研究中国内外研究学者集中于存储方式的研究。陈辉总结了厂内存储和厂外存储是目前常用的2种燃料存储方式<sup>[27]</sup>

；黎玉婷比

较分析了开放式存储、

覆盖式存储、仓库式存储和厌氧式存储这4种生

物乙醇原料的存储方法<sup>[30]</sup>

；常春阳利用规划模型对存储地址进行最优布局<sup>[25]</sup>

。国外

学者Rent

ielas分析了3种常

用的存储方式并将其运用到实际案

例中比较其存储效率，得出成本最低的存储方式<sup>[31]</sup>

。除此之外还介绍了存储方式的组合应用可以减少存储空间，从而实现存储成本的节约。

#### 4 现有研究的不足和进一步研究展望

我国生物质燃料供应链物流成本的相关研究还存在诸多问题，如模型原创和定量化分析还相对欠缺，研究成果未能对生物质燃料供应链产业化发展形成有效的理论支撑。

首先，在收集成本研究中，我国主要是以水稻和小麦为主，因此稻麦秸秆占总量40%~60%，特有的农业结构决定了稻麦秸秆为学者们的主要研究对象<sup>[32]</sup>，而国外种植结构更趋于多元化，研究对象更加丰富，玉米、甘蔗等其他秸秆也常见于相关文献中。所以在未来我国生物质燃料供应链的物流成本研究中需要关注原材料研究对象的多样化。

其次，由于国外大多数采用的是集中型大型机械化农场经营模式，因此国外学者在运输成本的研究上能够更好地借助于模型来得出优化成本方案。而我国的农户经营规模普遍较小且地块分散，经营模式和地域限制就使得国内研究模型建立和数据收集受限；且地区之间的经济发展不平衡决定了我国在短期之内不可能实现像发达国家那样的大型集体机械化农场，相对来说，能够形成量化的研究比较少。学者未来需要根据我国情况，建立适合中国经营模式的计量模型，这样也能够为企业提供更精准的成本优化方案。

最后，生物质原材料的季节可用性与不易存储性使其研究存在诸多不确定因素，导致国内外存储成本研究不足。未来学者研究过程中，需要将可能涉及到的某个或多个随机因素考虑进去，进而提高研究结果的可行性和可靠性。例如，天气随机变量对原材料变质、存储地点、存储周期和存储成本影响分析，国家政府财税政策、国际能源价格变量对原材料的生产和收集产生的影响等。

#### 参考文献：

- [1]Rosegrant M W, Msangi S, Sulser T B, et al. Biofuels and the global food balance : bioenergy and agriculture promises and challenges[J]. Vision Briefs, 2006.
- [2]Sheehan J, Dunahay T, Benemann J, et al. Look back at the U.S. department of energy ' s aquatic species program : biodiesel from algae[M]. National Renewable Energy Laboratory, 1998.
- [3]Riesing T F. Cultivating algae for liquid fuel production[EB/OL]. [2016-09-01]. <http://www.geni.orr/globalenergy/library/technical-articles/generation/future-fuels/permacultureactivist/cultivating-algae-for-liquid-fuel-production/index.shtml>.
- [4]常建民. 林木生物质资源与能源化利用技术[M]. 北京：科学出版社，2010：16-20.
- [5]高聪，杨洁，关志民，等. 非粮质生物能源供应链优化设计研究——以辽宁地区为研究对象[J]. 工业工程，2014（1）：99-104，111.
- [6]赵晓光，钟敏. 林木生物质能发展研究综述[J]. 安徽农业科学，2014（17）/514-5515，5517.
- [7]Atabani A E, Silitonga A S, Badruddin I A, et al. A comprehensive review on biodiesel as an alternative energy resource and its characteristics[J]. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 2012, 16（4）2070-2093.
- [8]Rimppi H, Uusitalo V, Vaisanen S, et al. Sustainability criteria and indicators of bioenergy systems from steering, research and finish bioenergy business operator perspectives[J]. Ecological Indicators, 2016, 66/57-368.
- [9]张晟义. 涉农供应链基本分类及狭义型涉农供应链的R&D地位[J]. 商品储运与养护，2007，29（1）/8.
- [10]Mckendry P. Energy production from biomass（part 1）：overview of biomass[J]. Bioresource Technology, 2002, 83（1）：37-46.
- [11]Caputo A C, Palumbo M, Pelagagge P M, et al. Economics of biomass energy utilization in combustion and gasification plants : effects of logistic variables[J]. Biomass & Bioenergy, 2005, 28（1）：35-51.
- [12]Thorsell S, Epplin F M, Huhnke R L, et al. Economics of a coordinated biorefinery feedstock harvest system : lignocellulosic biomass harvest cost[J]. Biomass & Bioenergy, 2004, 27（4）：327-337.
- [13]Mantovani B, Gibson H, Peart R M, et al. A simulation model for analysis of harvesting and transport costs for biomass

- based on geography , density and plant location[J].Analysis of Agricultural Energy Systems , 1992 : 253-280.
- [14]Higgins A J , Postma S.Australian sugar mills optimise siding rosters to increase profitability[J].Annals of Operations Research , 2004 , 128 ( 1/2/3/4 ) 235-249.
- [15]Gronalt M , Rauch P.Designing a regional forest fuel supply network[J].Biomass & Bioenergy , 2007 , 31 ( 6 ) : 393-402.
- [16]Ravula P P , Grisso R D , Cundiff J S.Cotton logistics as a model for a biomass transportation system[J].Biomass & Bioenergy , 2008 , 32 ( 4 ) : 314-325.
- [17]Grado S C , Strauss C H. Using an inventory control model to establish biomass harvesting policies[J].Solar Energy , 1995 , 54 ( 1 ) : 3-11.
- [18]邢爱华, 刘罡, 王焱, 等.生物质资源收集过程成本、能耗及环境影响分析过程工程学报, 2008, ( 2 ) : 305-313.
- [19]曹溢, 沈辉.秸秆发电过程中原料收集的成本分析[J].电力与能源, 2012, 33 ( 5 ) : 63-46.
- [20]檀勤良, 杨海平, 张兴平, 等.生物质发电燃料收集成本测算模型及实证分析中国科技论坛, 2014 ( 5 ) : 117-123.
- [21]刘岗, 郝德海, 董玉平.生物质秸秆收集成本研究及实证分析[J].技术经济, 2006 ( 2 ) : 85-88.
- [22]鲍香台, 张永, 林哲建, 等.生物质能供应链收集运输方式的仿真优化研究物流技术, 2011, 30 ( 12 ) : 65-168.
- [23]吴金卓, 林文树, 王立海.秸秆发电企业燃料供应成本优化模型及应用[J]物流技术, 2015, 34 ( 2 ) : 257-261.
- [24]俞宏德.生物质电厂燃料供应系统的模拟与优化[D].杭州: 浙江大学, 2011 : 24-41.
- [25]常春阳.生物质直燃发电燃料供应链库存系统优化[D].南京: 南京航空航天大学, 2014 : 28-48.
- [26]刘甜, 苏世伟.基于三螺旋理论的农作物秸秆板产业化路径研究[J].中国农学通报, 2015, 31 ( 27 ) : 285-290.
- [27]陈辉.生物质发电厂燃料收集、储存和运输[J].东方电气评论, 2013, 27 ( 3 ) : 79-83.
- [28]Jenkins B M , Arthur J F , Miller G E , et al.Logistics and economics of biomass utilization[J].Transactions of the Asae , 1984 , 27 ( 6 ) : 1898-1904.
- [29]Hamelinck C N , Suurs R A , Faaij A C.International bioenergy transport costs and energy balance[J].Biomass & Bioenergy , 2005 , 29 ( 2 ) : 114-134.
- [30]黎玉婷.生物乙醇供应链中的原料库存优化研究[D].上海: 上海交通大学, 2013 : 9-10.
- [31]Rentizelas A A , Tolis A J , Tatsiopoulou I P.Logistics issues of biomass : the storage problem and the multi-biomass supply chain[J].Renewable & Sustainable Energy Reviews , 2009 , 13 ( 4 ) : 887-894.
- [32]苏世伟, 朱文, 聂影.农作物秸秆资源生态转化方式分析[J].江苏农业科学, 2015, 43 ( 11 ) : 452-455.

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/137287.html>