

秸秆供应成本分析研究*

刘华财^{1,2} 阴秀丽¹ 吴创之¹

(1. 中国科学院可再生能源与天然气水合物重点实验室, 广州 510640; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

【摘要】 秸秆电厂原料供应包括田间收集、运输、装卸、预处理和储存子过程,本文在各子过程成本计算的基础上,把原料供应分成5种模式进行成本分析:中心料场直接收集散料模式、中心料场破碎收集模式、收储站破碎收集模式、收储站打包模式和成型颗粒模式。结果表明:成本从低到高依次为:中心料场破碎收集模式、收储站破碎收集模式、收储站打包模式和成型颗粒模式。中心料场直接收集散料模式的成本则在到厂运输距离不长时最低,但受距离的影响也最大,当距离分别大于16、28和69 km时超过中心料场破碎收集模式、收储站破碎收集模式和收储站打包模式。成型颗粒模式关键在于降低制粒能耗。打包模式中打包处理降低的运输成本还不能很有效地补偿打包和装卸环节增加的成本。除成型颗粒外的其他4种模式,都是购买成本最高,然后是运输成本和田间收集装车成本。

关键词: 秸秆 供应模式 成本分析

中图分类号: TK6; F062.4 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2011)01-0106-07

Cost Analysis of Crop Residue Supplies

Liu Huacai^{1,2} Yin Xiuli¹ Wu Chuangzhi¹

(1. Key Laboratory of Renewable Energy and Gas Hydrate, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract

Supply cost of crop residues for power plants was analysed. The supply chain includes five sub-processes, i. e. field collection, transportation, handling, pretreatment and storage. Five supply patterns were set up based on the differences in sub-processes, including bulk material pattern, centralized-storage chopping pattern, distributed-storage chopping pattern, baling pattern and pelleting pattern. The results show that, under specific conditions, the cost of the pelleting pattern is always the highest due to its high pelleting cost, followed by the baling pattern, the distributed-storage chopping pattern, and the centralized-storage chopping pattern in sequence. The bulk material pattern takes priority over the other three patterns when transportation distance is smaller than 69km, 28km and 16km respectively. The baling pattern needs improving since the cost reduction in transportation process can not effectively offset the cost increase in baling and handling processes. For all patterns except pelleting, purchase cost accounted for the largest proportion, followed by transportation cost and field collection cost.

Key words Crop residue, Supply option, Cost analysis

引言

生物质资源由于空间分布分散、能量密度小等特性,其收集、运输、装卸和储存成为制约生物质能

产业大规模发展的重要因素。在运输前对秸秆进行致密化处理,可以克服其容积密度小、储运不方便的缺点;建立中间收储站点可以解决其空间分布分散、收集困难的问题,保证秸秆供应的稳定性。但是,秸

收稿日期: 2010-01-27 修回日期: 2010-04-19

* 国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2009AA05Z434)和中国科学院创新方向项目(KGCX2-YW-329)

作者简介: 刘华财,博士生,主要从事生物质能利用技术的评价研究, E-mail: liuhc@ms.giec.ac.cn

通讯作者: 阴秀丽,研究员,博士生导师,主要从事生物质能源转化技术研究, E-mail: xlyin@ms.giec.ac.cn

秸秆收储运中每一步中间操作都意味着开支的增加。如何建立合理、高效的秸秆收储运体系,是生物质能利用需要首先解决的关键问题。由于我国大部分地区以户为单位的耕作模式,使得该问题更加突出。现有文献^[1-4]对秸秆供应的研究,只侧重于子过程,或只侧重供应模式,成本分析则多采用经验数据,在考虑子过程的规模效应并将各子过程和供应模式联系分析方面存在不足。本文针对国内生物质电厂的几种秸秆供应模式以及将来可能广泛应用的颗粒成型技术,进行成本分析。

1 收储运模型

为了方便分析,本文作如下假设:①秸秆资源岛式分布^[4],收储站收集范围为圆形,收集范围内秸秆分布均匀。②农作物品种单一,单位面积秸秆产量相等。③秸秆由农户晾晒后堆积存放,再由收储站进行收集。收集过程如图 1 所示。

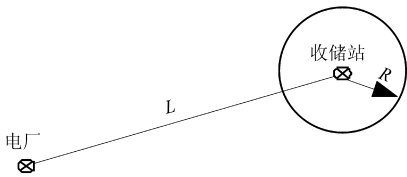


图 1 收集过程示意图
Fig. 1 Scheme of collection process

秸秆的供应成本 C (元/t) 计算式为

$$C = C_b + C_{c1} + C_{c2} + C_p + C_l + C_s \tag{1}$$

式中 C_b ——购买成本 C_p ——预处理成本
 C_{c1} ——田间到收储站运输成本
 C_{c2} ——收储站到电厂运输成本
 C_l ——装卸成本 C_s ——储存成本

其他的一些费用如备用机器、场内转运费用等本文不予考虑。

1.1 费用模型

过程中使用的机器的费用分为两部分^[5],一部分是固定费用,即折旧费用为

$$F = \left[P - \frac{S}{(1+i)^n} \right] \frac{i}{1 - (1+i)^{-n}} \tag{2}$$

式中 F ——固定费用,元/年
 P ——购买费用,元 i ——年利率
 n ——设备寿命,年
 S ——残值,取 P 的 5%,元

另一部分是与机器使用情况相关的可变费用^[5]为

$$V = 0.000\ 2P + 1.2C_{pe} + C_f \tag{3}$$

式中 $0.000\ 2P$ ——修理和维护费用,元/h
 $1.2C_{pe}$ ——人员工资,假设人员工作时间是机器运行时间的 1.2 倍,元/h
 C_f ——燃料费用,不考虑润滑油费,元/h

1.2 运输模型

收储站秸秆收集量 Q (t) 为^[2]

$$Q = \alpha_0 k_1 k_2 k_3 \pi R^2 \tag{4}$$

式中 α_0 ——作物单位面积产量,t/km²
 k_1 ——耕地面积覆盖率
 k_2 ——作物草谷比
 k_3 ——秸秆可利用系数
 R ——收集半径,km

秸秆运输费用包括田间—收储站和收储站—电厂两部分。本文设田间收集运输使用的是小型拖拉机,从收储站到电厂使用的是大马力拖拉机挂车,若是散料直接运输到电厂则运输全程都是小型拖拉机。运输费用包括车辆的折旧、修理维护费、人工费用和燃料费用。

完成一次运输,设空载和满载的运程比为 1:1,车辆参数信息见表 1,则单位载重公里耗油率^[6-7]为

$$\lambda = \frac{\left(\frac{g_e}{v_1} + \frac{g_{e0}}{v_0} \right) N_{en}}{2m} \tag{5}$$

式中 m ——载重量,t

表 1 农用轮式拖拉机在沙砾路面的基础参数

Tab. 1 Basic parameters of farm wheeled tractors on sand road

满载车速 $v_1/\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$	空载车速 $v_0/\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$	满载耗油 $g_e/\text{kg}\cdot(\text{kW}\cdot\text{h})^{-1}$	空载耗油 $g_{e0}/\text{kg}\cdot(\text{kW}\cdot\text{h})^{-1}$	功载比 $N_{em}/\text{m}/\text{kW}\cdot\text{t}^{-1}$
18	25	0.272	0.254	8.9

秸秆的质量运输费率为

$$C_m = \left[4(0.5 + 0.000\ 2P_t + 1.2C_{t,pe}) + C_{t,f}N_{en}(v_0 + v_1) \left(\frac{g_e}{v_1} + \frac{g_{e0}}{v_0} \right) \right] / [2m(v_0 + v_1)] \tag{6}$$

式中 P_t ——车辆购买费用,元

$C_{t,pe}$ ——司机人工费用,元/h
 $C_{t,f}$ ——燃油价格,元/L
秸秆从田间到收储站的运输费用为^[4]

$$C_{c1} = \frac{\int_0^R 2\pi\alpha\beta C_m r^2 dr}{Q} = \frac{2}{3}\beta C_m R \tag{7}$$

式中 β ——道路曲折因子,本文取 $\sqrt{2}$

车辆的可变费用和其工作时间有关,但运输时间并非工作时间,车辆在收储站和电厂之间往返一次的运输时间 $T(\text{h})$ 除装卸时间和车辆路上行走的时间外,还包括质检、称重等其他时间,本文取其他时间为 0.5 h 。设司机每天工作时间不超过 10 h ,则挂车每天能完成的运输次数为

$$N_{trip} = \text{INT}\left(\frac{10}{T}\right)$$

(8)

需要的车辆数目为

$$N_2 = \text{INT}\left(\frac{Q}{mN_{trip}N_d}\right) + 1$$

(9)

式中 N_d ——收储站年运行天数

挂车一天的工作时间为

$$T_{i2} = N_{trip}\beta L\left(\frac{1}{v_0} + \frac{1}{v_1}\right)$$

(10)

式中 L ——收储站到电厂的直线距离, km

秸秆从收储站到电厂运输费用为

$$C_{i2} = \frac{F_{i2}/N_d + V_{i2}T_{i2}}{mN_{i2}}$$

(11)

式中 F_{i2} ——车辆固定费用, 元/年

V_{i2} ——车辆可变费用, 元/h

1.3 装卸模型

不同状态的秸秆装卸方式不同,堆密度也相差很大,如表 2 所示。耗时最长的是田间散料的装车,一般需要 2~3 人;秸秆碎片和成型颗粒使用斗式装载机进行装车,到厂后可自卸;秸秆包在收储站装卸使用叉车。装卸费用由装卸方式决定,若是人工装卸则只计人工费用,若是机器装卸,则其费用还包括机器的燃料、折旧和维护费用。装卸费用为

$$C_l = \frac{F_l/N_d + V_lT_l}{M_l}$$

(12)

式中 F_l ——装卸机器固定费用, 元/年

V_l ——装卸机器可变费用, 元/h

T_l ——装卸机器工作时间, h

M_l ——装卸量, t

表 2 秸秆不同状态下的堆密度及装车速度

Tab.2 Bulk density of biomass and the loading speed

秸秆状态	堆密度 ^a / $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	本文取值 ^b / $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	装车速度 ^[10~11]
散料	20~40	40	0.25 t/h
碎片	40~80	120	3 m ³ /min
秸秆包	110~200	170	1 包/min
成型颗粒	560~720	600	3 m ³ /min

注: a 密度为黄色秸秆干燥基密度。 b 灰色秸秆碎片堆密度为 120 kg/m^3 ,散料和成型颗粒密度与黄色秸秆相同。

一天中的装车和卸车都必须在 10 h 内完成,由

此可计算所需装卸机器的数目为

$$N_l = \text{INT}\left(\frac{M_l}{10}\right) + 1$$

(13)

秸秆包的运输设为每车 16 包。秸秆捆抓斗起重机每次抓取 8 包,完成一个作业循环即吊起秸秆包送至指定位置后返回原位所用时间取 6 min^[8]。

1.4 预处理模型

本文考察秸秆的 3 种预处理方式:破碎、打包和颗粒成型。计算预处理的成本时,式(2)中的 P 项还包括建设投资等在内。秸秆处理的非燃料费用如固定投资、人力费用、修理和维护成本等,与生产规模呈指数变化关系^[12~13],处理能力为 $M_p(\text{t/h})$ 的装置,其非燃料费用为

$$C_{p, nf} = \left(\frac{M_p}{M_{p0}}\right)^{s_p-1} C_{p0, nf} = \left(\frac{M_p}{M_{p0}}\right)^{s_p-1} \frac{F_{p0} + 0.0002P_{p0} + 1.2C_{p0, pe}}{M_{p0}}$$

(14)

式中 M_{p0} ——参考设施的处理能力, t/h

$C_{p0, nf}$ ——参考设施非燃料费用, 元/t

F_{p0} ——参考设施固定费用, 元/h

$0.0002P_{p0}$ ——参考设施的修理和维护费用, 元/h

$1.2C_{p0, pe}$ ——参考设施的人工费用, 元/h

S_p ——生产力指数,取 0.7

燃料费用与生产规模成正比,则秸秆预处理费用为

$$C_p = \left(\frac{M_p}{M_{p0}}\right)^{s_1-1} \frac{F_{p0} + 0.0002P_{p0} + 1.2C_{p0, pe}}{M_{p0}} + \frac{C_{p0, f}}{M_{p0}}$$

(15)

式中 $C_{p0, f}$ ——参考装置的燃料费用, 元/t

参考装置参数见表 3,本文各费用均为 2006 年数值,文献数值以 3% 的通货膨胀率转化成 2006 年数值。

表 3 参考装置参数

Tab.3 Performance of reference devices

装置	价格/万元	处理量 ^a	能耗/ kW	寿命 ^a /年	人工 ^[1,14]
打包	25	9 包/h	54.25	10	3 人
破碎	2	3 t/h	18.5	6	3.5 元/t
制粒	35.1	1 t/h	101.3	9	34.81 元/t

注: a 秸秆包尺寸为 1.5 m×1.3 m×1.2 m,每包干基质量为 405 kg。

1.5 储存模型

为保证正常生产,电厂需储存一定量的秸秆原料,本文设秸秆储存总量为电厂 30 d 的用量。若在各收储站分散储存,则其储存量占总储存量的比例与其收集量占电厂总需求量的比例相等,其中秸秆包在电厂内部仍需要堆垛储存,本文取为 5 d 用量。

储存规模为 7 500 t 的秸秆包露天料场的建设投资估算为 345.5 万元^[15],其中场地硬化费用与场地面积成正比,设其他费用相同,则同等规模下的各储存方式的比较如表 4 所示。

表 4 秸秆储存方式比较

Tab. 4 Comparison of storage methods

	散料	碎片	秸秆包 ^a
垛高	12 m	8 m	4 包
参考投资/万元	415.5	318.3	345.5

注:a 秸秆包在收储站露天储存,在电厂用储料棚储存。

生物质的储存投资和储存规模呈指数变化关系^[16],储存容量为 $M_s(t)$ 的料场其建设投资估算为

$$F_s = \left(\frac{M_s}{M_{s0}}\right)^{s_s} F_{s0}$$

(16)

式中 M_{s0} ——参考料场的储存量,t
 F_{s0} ——参考料场的建设费用,元
 S_s ——规模因子,取 0.557 5

取料场的年运行费用为建设投资的 3%,则秸秆储存费用 $C_s(t/年)$ 为

$$C_s = 1.03F_s/Q$$

(17)

储料棚的建设投资取为 600 元/m²,其他费用忽略不计。成型颗粒较大规模的储存一般采用筒仓技术,设其储存费用占总费用的比例与文献[17]相同,为 4.65%。

2 供应模式比较

根据预处理和储存方法的不同,可将供应模式简化分为 5 种,如图 2 所示。

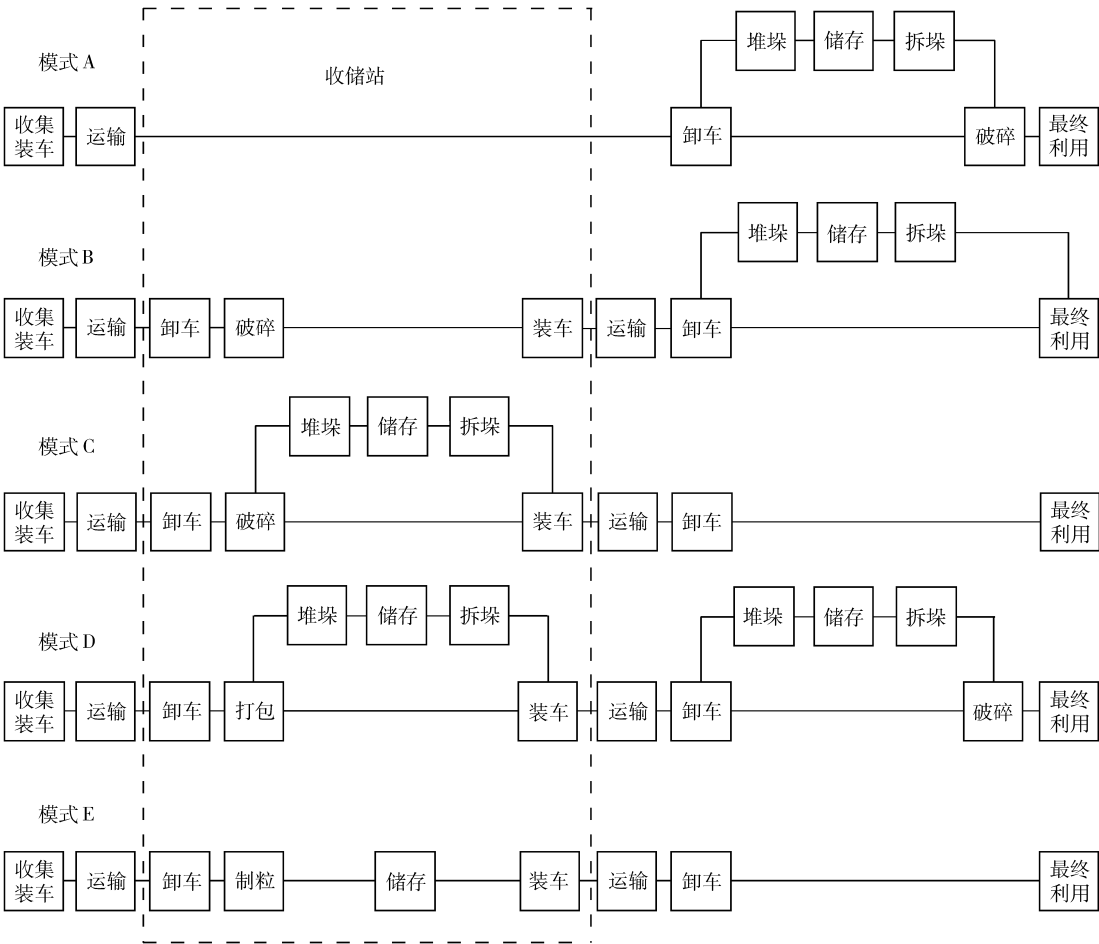


图 2 各收储运模式的比较

Fig. 2 Comparison of the supply and storage options

其中模式 A 是中心料场直接收集散料模式,B 是中心料场破碎收集模式,C 是收储站破碎收集模式,D 是收储站打包模式,E 是成型颗粒模式。供应黄色秸秆可采用模式 A、D 或 E,供应灰色秸秆可采

用模式 A、B、C 或 E。图中的流程分支秸秆量设为 1:1,以模式 A 为例,卸车堆垛和卸车后直接破碎的秸秆量之比为 1:1。本文针对表 5 和表 6 的参数,对上述 5 种收储运模式式进行考察分析。

表 5 机器参数
Tab.5 Equipment specification used in the model

机器	价格/万元	处理量	能耗/kW	油耗/L·h ⁻¹	寿命/年
叉车	10	1 包/min		2.5	10
铲车	7	3 m ³ /min		8.5	10
拖拉机	0.4	1 t			8
拖拉机挂车	9	6 ~ 8 t(40 m ³)			12
抓草机	3	4 t/h		2	12
秸秆抓斗起重机 ^a	15	20 t/h	18		10
秸秆捆抓斗起重机 ^a	150		46.2		10

注:a 其实际耗功取为额定功率的 60%。

表 6 收储运相关参数取值
Tab.6 Key parameters used in the model

参数	取值
电厂秸秆消耗量/t·年 ⁻¹	180 000
收储站秸秆供应量/t·年 ⁻¹	18 000
电厂和收储站年运行天数 N/d	300
可利用秸秆资源密度 $\alpha_0 k_1 k_2 k_3$ /t·km ⁻²	307
秸秆购买成本/元·t ⁻¹	120
收储站到电厂直线距离 L/km	21.2
秸秆含水率/%	10
料场寿命/年	25
年利率 i/%	6
人员工资/元·h ⁻¹	6
柴油价格/元·L ⁻¹	5
电价/元·(kW·h) ⁻¹	1

用更为有效。
模式 D 是目前黄色秸秆供应中最常用的,其成本组成见图 4。占总成本比例较大的几个子过程依次是购买、田间收集、到厂运输、装卸、打包和破碎。

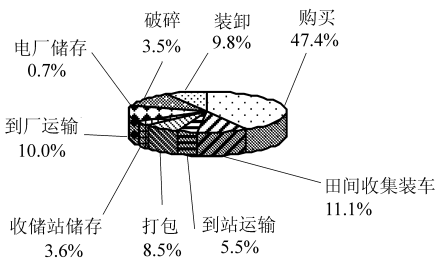


图 4 模式 D 各子过程成本比较

Fig.4 Share of collection cost of option D

模式 E 由于制粒能耗远高于打包和破碎的能耗,所以其成本也是最高的。在文中给定条件下,成型颗粒在运输方面没表现出优势,这和交通工具的选择有关,成型颗粒受载重而不是载容限制,可以选用更有效的运输工具;模式 E 在储存方面也没表现出优势,成型颗粒的储存需要防湿、防破碎和防微生物生长,和粮食的储存相似,需要干燥且通风的储存环境,在大规模储存方面的研究还比较少,其利用模式需要进一步的探索和研究。

A ~ D 4 种模式都是购买成本最高,随后是运输和田间收集装车。由于选定了农用拖拉机为运输工具,各模式的运输费用基本相同,田间装车这一环节的费用在各模式所占的比例都比较可观,这是由于秸秆散料装车和捆绑的难度较大。

3.2 敏感性分析

收购价格、运输距离、可利用资源密度对模式 A 成本的影响见图 5。这 3 个因素对模式 A ~ D 成本的影响情况基本一致,其中影响最大的是收购价格,其次是运输距离,最后是可利用资源密度。可利用资源密度影响的是从田间到收储站的运输成本,在总成本中占的比例较小,所以其变化对总成本的影响也相对较小。

收储站到电厂运输距离小于 16 km 时,模式 A

3 结果和讨论

3.1 总体结果

各模式的成本如图 3 所示,其中堆垛和拆垛费用包含在装卸费用内。

模式 A 的成本低,因为它的中间环节最少,但在实际操作中的关键是良好的地方交通状况和较高的料场吞吐效率。模式 C 的成本比模式 B 稍高,具体体现在装卸和储存成本上,和收储站分散储存相比,大料场集中储存的管理更加经济,人力和机器的使

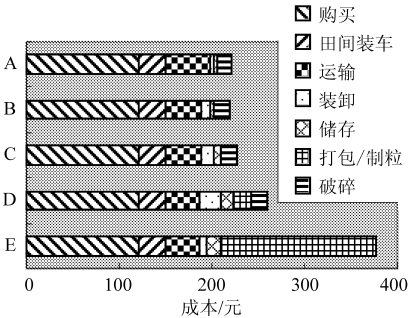


图 3 各模式成本的比较

Fig.3 Comparison of collection costs

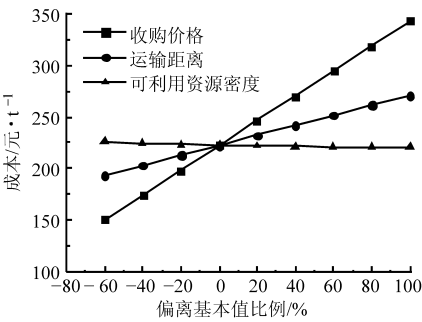


图 5 模式 A 成本敏感性分析曲线

Fig. 5 Sensitivity analysis of option A

的成本最低,随着距离的增加,其优势逐渐丧失,如图 6 所示。距离大于 28 km 时,模式 A 成本高于模式 C,但直到距离为 69 km 时,模式 A 和 D 成本才相等,可见对黄色秸秆,模式 A 很具吸引力。其他 4 种模式之间的优劣关系并未随距离变更,模式 D 与模式 B 和 C 的成本差缩小,但并不显著,模式 C 的成本比模式 B 稍高。

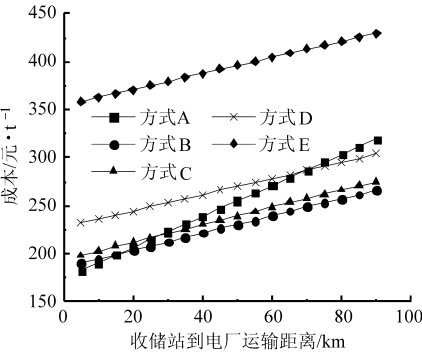


图 6 各模式成本与到厂运输距离关系曲线

Fig. 6 Relation between supply cost and transportation distance

收储站的收集成本随着规模增加而增加,但预处理成本随着规模的增加而减小,不考虑后续环节,则二者之和存在一个最佳值,如图 7 所示。随着规模的增加,颗粒成型成本迅速下降,但下降的速度逐渐减小,这表明制粒成本在起主导作用,收集成本影响较小;破碎和打包处理的成本变化趋势基本相

同,和颗粒成型相比而言变化幅度较小;打包成本在规模 1.1 万 t 时达到最小值,之后缓慢上升,破碎成本最小值出现在 2.1 万 t,之后缓慢上升。

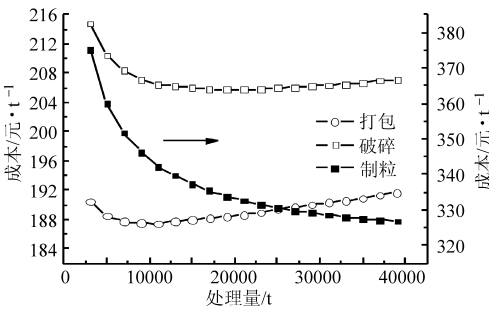


图 7 预处理产品成本与规模关系曲线

Fig. 7 Relation between pretreatment cost and scale

4 结论

(1)成本从低到高依次为中心料场破碎收集模式、收储站破碎收集模式、收储站打包模式和成型颗粒模式。中心料场直接收集散料模式的成本则在到厂运输距离不大时最低,但随着距离的增加比其他模式更快地提高,文中条件下,分别在距离大于 16、28 和 69 km 时依次超过中心料场破碎收集模式、收储站破碎收集模式、收储站打包模式。

(2)和直接收集散料模式相比,收储站打包模式在运输距离大于 69 km 时才具优势,运输阶段降低的成本并不能很好地补偿在打包和装卸阶段增加的成本,需要进一步改进。成型颗粒模式的成本偏高,国内的制粒技术还有很大的提升空间,降低制粒耗能和适合地方情况的利用模式是关键。除成型颗粒外的其他 4 种模式,都是购买成本最高,随后是运输和田间收集装车。

(3)文中条件下,打包处理成本最小值对应的秸秆收集量为 1.1 万 t,小于破碎处理对应的 2.1 万 t。规模因子的使用有一定局限性,有必要把各预处理方式和储存方式的规模效应联系起来进行更细致深入的研究,以指导发展高效的秸秆供应模式。

参 考 文 献

1 陈利明. 秸秆发电行业原料储备的一条龙机械作业[J]. 水利电力机械, 2006,28(12):64~69.
Chen Liming. The machinery operation of raw material storage in straw generation industry[J]. Water Conservancy & Electric Power Machinery, 2006,28(12):64~69. (in Chinese)

2 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.

3 赵希强, 马春元, 王涛, 等. 生物质秸秆预处理工艺及经济性分析[J]. 电站系统工程, 2008,24(2):30~33.
Zhao Xiqiang, Ma Chunyuan, Wang Tao, et al. The pretreatment technology of straw and economic analysis[J]. Power System Engineering, 2008,24(2):30~33. (in Chinese)

4 邢爱华, 刘罡, 王垚, 等. 生物质资源收集过程成本、能耗及环境影响分析[J]. 过程工程学报, 2008,8(2):305~313.
Xing Aihua, Liu Gang, Wang Yao, et al. Economic, energy and environment analysis on biomass collection process[J]. The

- Chinese Journal of Process Engineering, 2008,8(2):305~313. (in Chinese)
- 5 Sokhansanj S, Kumar A, Turhollow A F. Development and implementation of integrated biomass supply analysis and logistics model (IBSAL)[J]. Biomass and Bioenergy, 2006, 30(10): 838~847.
- 6 陈丽能, 林鸿, 徐展锋, 等. 农村运输机械耗油量数学模型的研究[J]. 浙江大学学报:农业与生命科学版, 2003, 29(2):185~187.
- Chen Lineng, Lin Hong, Xu Zhanfeng, et al. Research on the mate models of the combustion oil consumption of the farm transport machineries[J]. Journal of Zhejiang University: Agric. & Life Sci., 2003,29(2):185~187. (in Chinese)
- 7 杨树华, 雷廷宙, 何晓峰, 等. 生物质致密冷成型原料最佳收集半径的研究[J]. 农业工程学报, 2006,22(增刊1): 140~142.
- Yang Shuhua, Lei Tingzhou, He Xiaofeng, et al. Study on economical radius of collected straw in biomass fuel cold compression molding[J]. Transactions of the CSAE, 2006,22(Supp.1):140~142. (in Chinese)
- 8 张柏珊. 秸秆捆自动抓斗起重机的技术性能要求分析[J]. 水利电力机械, 2006,28(12):56~59.
- Zhang Baishan. Analysis of the performance technology requirement of straw bale bucket crane[J]. Water Conservancy & Electric Power Machinery, 2006,28(12):56~59. (in Chinese)
- 9 Sokhansanj S, Turhollow A, Cushman J, et al. Engineering aspects of collecting corn stover for bioenergy[J]. Biomass and Bioenergy,2002, 23(5):347~355.
- 10 Perlack R D, Turhollow A F. Assessment of options for the collection, handling and transport of corn stover, ORNL/TM-2002/44[R]. U. S. Department of Energy Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, 2002.
- 11 张培远. 国内外秸秆发电的比较研究[D]. 郑州:河南农业大学, 2007.
- Zhang Peiyuan. Comparative study of the domestic and international straw generating electricity[D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2007. (in Chinese)
- 12 Nguyen M H, Prince R G H. A simple rule for bioenergy conversion plant size optimisation: bioethanol from sugar cane and sweet sorghum[J]. Biomass and Bioenergy, 1996, 10(5~6): 361~365.
- 13 Jenkins B M. A comment on the optimal sizing of a biomass utilization facility under constant and variable cost scaling[J]. Biomass and Bioenergy, 1997, 13(1~2): 1~9.
- 14 李在峰, 杨树华, 何晓峰, 等. 秸秆颗粒燃料应用于小型火力发电厂的经济性分析[J]. 可再生能源, 2008, 26(3): 88~90.
- Li Zaifeng, Yang Shuhua, He Xiaofeng, et al. Economic analysis on straw pellet application in small-scale power plant[J]. Renewable Energy Resources, 2008, 26(3): 88~90. (in Chinese)
- 15 那贵森. 关于东北地区玉米秸秆发电的探讨[J]. 水利电力机械, 2006,28(10):45~49.
- Na Guisen. Discussion on the generation technology of corn stalk in north-east of China[J]. Water Conservancy & Electric Power Machinery, 2006,28(10):45~49. (in Chinese)
- 16 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 and Bioenergy, 2005, 28(1): 35~51.
- 17 Thek G, Obernberger I. Wood pellet production costs under Austrian and in comparison to Swedish framework conditions [J]. Biomass and Bioenergy, 2004,27(6): 671~693.
- 18 吴创之, 周肇秋, 阴秀丽, 等. 我国生物质能源发展现状与思考[J]. 农业机械学报, 2009,40(1):91~99.
- Wu Chuangzhi, Zhou Zhaoqiu, Yin Xiuli, et al. Current status of biomass energy development in China[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009,40(1):91~99. (in Chinese)