# 生物质能秸秆回收物流成本分析及测算

张茜，李洋，王磊明

（东北林业大学工程技术学院，哈尔滨150040）

摘要：为改变现今生物质发电厂收集秸秆燃料的回收物流成本居高不下的现状，探究降低秸秆回收物流成本的方法，本研究通过构建两种秸秆回收物流模式，对秸秆回收物流成本的结构组成进行了分析，并总结了秸秆回收物流涉及到的各种影响因素。基于微积分构建秸秆回收物流的成本测算模型，结合实例对模型的敏感性进行了分析。结果表明：半径因素是影响回收物流成本的最重要因素，适当减小收集半径可很大程度上降低运输费用；收集秸秆时，为使最终的回收物流成本最低，可将外包商的个数控制在10个左右；生物质发电厂在初期选址时要进行合理规划，政府严格准入，避免一定区域内密集建厂。

现代经济发展对地球的能源具有很强的依赖性，然而不可再生能源的日渐枯竭以及化石能源使用时产生的严重污染，使得可再生能源越来越受到世界各国的关注。合理利用生物质能源可有助于缓解资源与能源短缺的局面，缓解环境污染与经济发展的矛盾，更切实地实现资源的可持续发展[1]。

大规模利用秸秆资源进行生物质发电可使产业化程度提高，目前来讲也是利用秸秆最为有效的途径。与化石能源不

[2-3]

。秸秆
回收物流成本
是收集成本的重要组成部分
，因此分析研究秸秆的回收物流成本具有重要意义。Dy
ken等[4]
综合考虑贮存
、运输与供给等方面并建立
了相关模型，进而深度研究生物质能源的物流系统。魏
巧云等[5]
则是主要探究影响秸秆供应链物流成本的最关键因素，其中运输成本的四大主要影响因素包括：车辆技术性能、车辆营运成本、秸秆特性以及收集模式与半径，并且分别构建了简单型和复杂收集模式下的运输成本模型。还有学者针对秸秆的供应环节构建了4种模式，分为人工收集主动运送模式、机械收集主动运送模式、人工收集等待收购模式和机械收集等待收购模式，并建立了相应的成本模型[6]。赵浩亮等[7]
结合火电厂的成本研究方法，建立了以月为单位的生物质发电的动态成本分析模型，结果表明燃料费的变化对其成本影响最大，其次是折旧费和厂用电费。Cucek等[8]
从生物质能供应链中的几个重点环节入手，并且各环节模型均体现出对生态环境的影响，进而优化了系统。

另外，王燕[9]将博弈论方法引入生物质发电供应链合作关系中，对农户、中间收购商和发电厂三方进行了动态价格博弈，分析了电厂对中间收购商的价格激励效应，并探讨了在政府参与下对均衡结果的影响。

以上模型着重研究生物质发电燃料供应链的模式及其成本分析，分析制约生物质发电产业发展的原因，但其多侧重供应链模式的探究，且在数据的使用上较经验化，在分析对比各种模式时呈现出一定的局限性。本研究从回收物流的角度入手，分析秸秆从农户这一起点到生物质电厂仓库这一终点之间的收集过程，构建合理的秸秆回收物流计算方法，并结合实例应用模型，为降低秸秆的回收物流成本提出合理建议。

## 1秸秆回收物流模式

燃料秸秆的收集方式不尽相同，因此回收物流成本也相差颇大。然而，调研多家生物质发电厂企业后了解到，秸秆的回收因收集地与电厂距离不同而分为2种回收路径[10]
，距电厂较近区域内的秸秆由农户直接运至电厂，此外较远区域的秸秆一般由外包商在农户处购买后统一运送至电厂。本研究提出秸秆回收物流的2种模式，即农户-电厂模式和农户-外包商-电厂模式。

秸秆燃料的收集及运输过程较为复杂，且由于地形地貌的不同，影响因素之间的关系均会发生变化，因此为便于分析，作如下假设：

1）不考虑农作物的具体种类 [11]，且农作物在目标收集区域内呈均匀分布，品种单一且单位面积的产量相等；

2）秸秆种植面积广阔且其数量充足 [12-13]，可满足生物质电厂的用量；

3）忽略农作物的区域性、季节性 [14]；

4）收集和运输的能力足够 [15]，忽略其他客观因素（如交通、天气等）对秸秆收集的影响；

5）按最不利情况，未覆盖区域由生物质电厂直接进行购买入厂。

1.1秸秆回收物流模式分析

1）模式一：农户-电厂模式。如图1所示，距电厂较近区域内的秸秆由农户直接运至电厂。这种模式产生的费用包括农户将秸秆运输至电厂的运输费用、装卸费用[16]以及电厂支付给农户的单位利润费用。

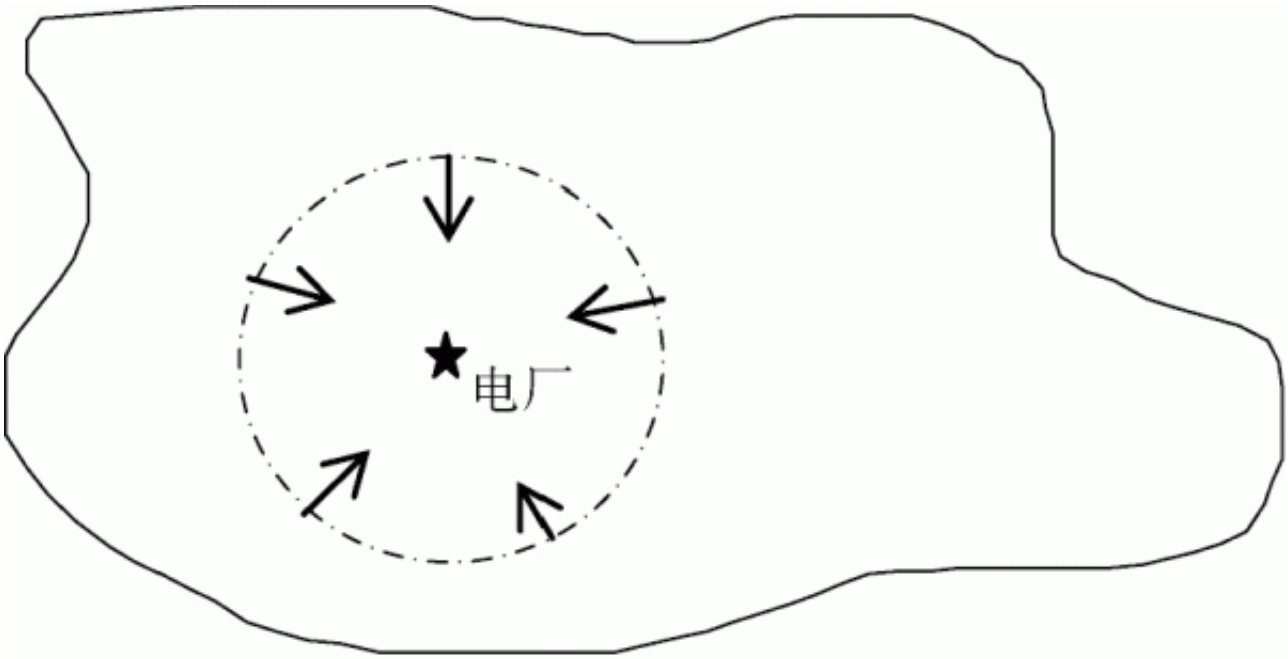


图 1　农户-电厂模式回收物流示意图

Fig. 1　The recycling logistics illustration of farmer-power plant model

2）模式二：农户-外包商-电厂模式。如图2所示，距电厂较近区域的秸秆由农户直接送往电厂，此外较远区域的秸秆是外包商在农户处购买后统一运送至电厂。产生的费用包括外包商将秸秆运输至电厂过程中的运输费用、装卸费用、对秸秆的预处理和储存费用以及电厂支付给外包商的单位利润费用。秸秆回收物流模式如图3所示。

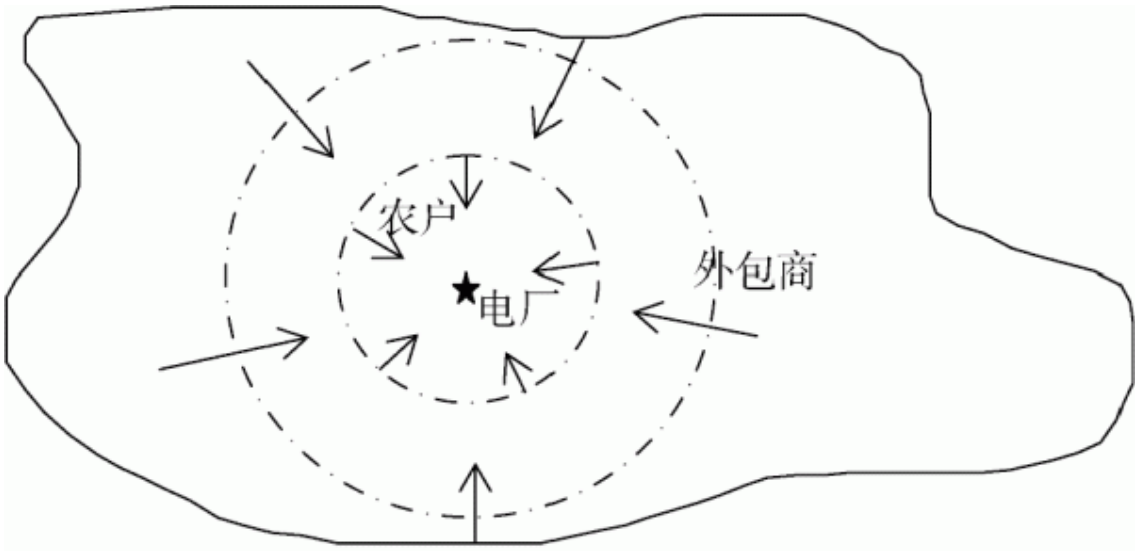


**图 2　农户-外包商-电厂模式回收物流示意图**

Fig. 2　The recycling logistics illustration of farmer-power plant model

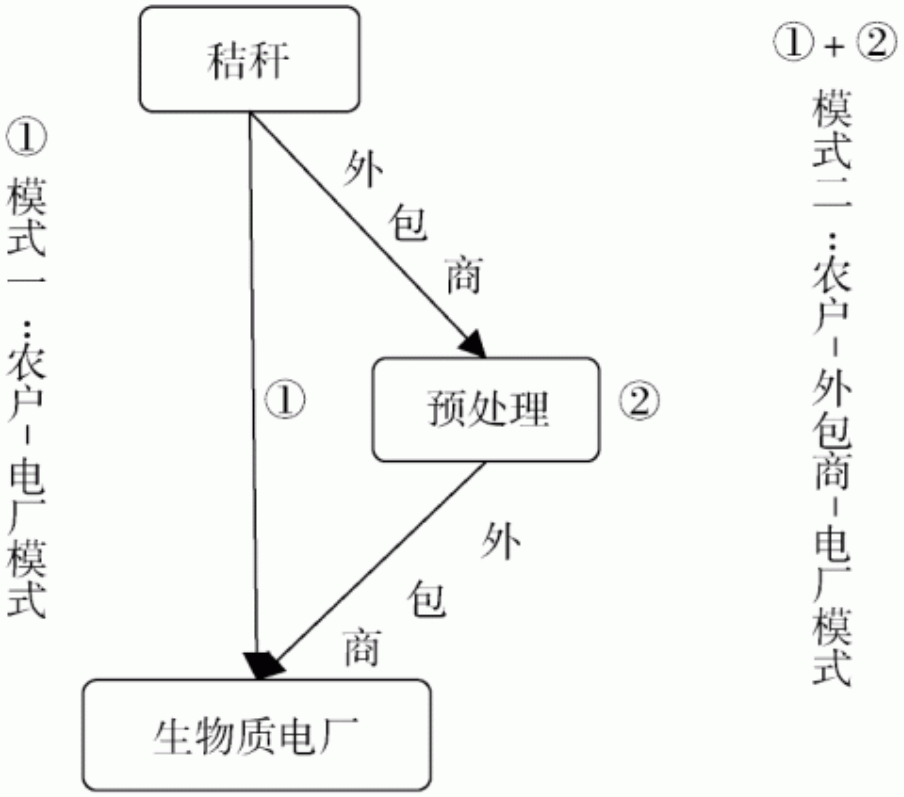


**图 3　秸秆回收物流模式图示**

Fig. 3　Straw recycling logistics model

1.2秸秆回收物流成本结构分析

秸秆燃料的回收物流成本是指秸秆在回收物流过程中所耗费的各种劳动和物化劳动的货币表现[17]。秸秆的回收物流成本主要包括运输成本、对秸秆的预处理成本、储存成本和其他成本，成本结构图见图4。

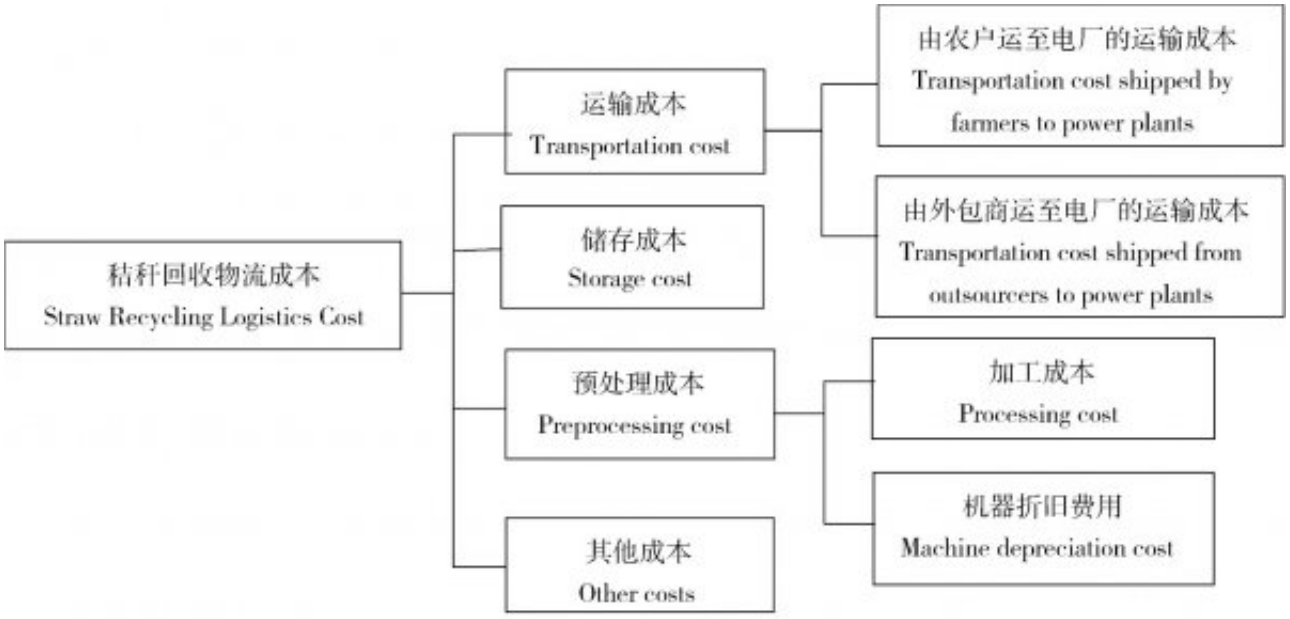


图 4　秸秆回收物流成本结构图

Fig. 4　Total cost structure of straw recycling logistics

1）运输成本：指将已购买秸秆运输至电厂的费用。包括农户送往电厂和外包商送往电厂产生的运输费用。

2）对秸秆的预处理成本：外包商为输运方便，往往将秸秆压碎、压缩然后打包，包括加工成本和机器的折旧费用。

3）储存成本：指秸秆所占场地的租赁费用和人工费。

4）其他成本：除了以上3类成本外的其他费用，一般包括劳动力费用、装卸费用、电厂支付给农户和外包商的利润费用等。

**2秸秆回收物流成本模型建立**

假设秸秆在指定区域内均匀分布，且收集秸秆的范围是以电厂为中心的圆形区域[18]。秸秆的回收物流成本主要由秸秆的运输成本、预处理成本和仓储成本构成。

## 2.1 由农户直接运往电厂的秸秆运输成本

假设在半径为 $R$ 的区域范围内分布着密度为 $\rho_i$ 的秸秆。当农户自行将秸秆送往电厂时，运输成本 $C_h$ 包括支付给工人的装卸费用 $C_{h,2}$ 与公路上的运输费用 $C_{h,1}$[19-20]。因公路线路并非规则直线，设曲折参数为 $\beta=\sqrt{2}$[21]。农户的运费 $C_{h,1}$ 为：

$$C_{h,1}=\iint \rho_i r\beta c_n \mathrm{r}\mathrm{d}\mathrm{r}\mathrm{d}\theta \tag{1}$$

$t_n$ 代表普通拖拉机的单位运费，包括人工费及燃油费，单位：元/(t·km)。

对式(1)积分得：

$$\int_0^{2\pi}\int_0^{\mathrm{r}} \sqrt{2}\rho_i r^2 t_n \mathrm{d}\mathrm{r}\mathrm{d}\theta=\frac{2\sqrt{2}}{3}\pi\rho_i r^3 t_n \tag{2}$$

农户先将秸秆装至车上，到达电厂后再将秸秆卸下，装卸费用为：

$$C_{h,2} = 2q_n \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \rho_i \tag{3}$$

$q_n$ 表示单位装卸费用，即为支付给农户装卸的费用，单位：元/$t$。

农户的总运输成本为：

$$C_h = \frac{2\sqrt{2}}{3}\pi\rho_i r^3 t_n + 2q_n \cdot \pi\ r^2\rho_i \tag{4}$$

**2.2　由外包商运往电厂的秸秆运输成本**

选取 $C_p$ 代表支付给外包商的费用，包括运输费用 $C_{p,1}$ 和装卸费用 $C_{p,2}$。设共 $m$ 个外包商，其中某一外包商的运输费用为 $C_{pk,1}$，($k=1\cdots m$ )，包括收集半径内的运输费用 $C_{pk,11}$ 与收购点运往电厂的运输费用 $C_{pk,12}$。

$$C_{pk,11} = \int_0^{2\pi}\int_0^{rk}\sqrt{2}\rho_i r_k^2 t_j \,\mathrm{d}r\mathrm{d}\theta = \frac{2\sqrt{2}}{3}\pi\rho_i r_k^3 t \tag{5}$$

$r_k$ 表示其一外包商的收集半径，单位：m；$t_j$ 表示外包商的单位运输费用，单位：元/(t·km)。

那么 $C_{pk,2}$ 式为：

$$C_{pk,12} = \pi \cdot r_k^2 \cdot \rho_i \cdot \beta \cdot D_k \tag{6}$$

式中：$D_k$ 表示收购点与电厂之间的距离，单位：m。其中某一外包商的运输费用如下：

$$C_{pk,1} = C_{pk,11} + C_{pk,12} = \frac{2\sqrt{2}}{3}\pi\rho_i r_k^3 t_j + \pi \cdot r_k^2 \cdot \rho_i \cdot \beta \cdot D_k \tag{7}$$

因此可得 $C_{p,1}$ 为：

$$C_{p,1} = \sum_{k=1}^{m} C_{pk,1} = k \overset{m}{=} 1\left(\frac{2\sqrt{2}}{3}\pi\rho_i r_k^3 t_j + \pi \cdot r_k^2 \cdot \rho_i \cdot \beta \cdot D_k\right) \tag{8}$$

外包商存在 2 次装卸活动，一是从田间到收购点的过程，二是收购点到电厂的过程。则装卸费用为：

$$C_{p,2} = 4q_j \cdot \pi \cdot (R^2 - r^2) \cdot \rho_i \tag{9}$$

$q_j$ 表示外包商的单位装卸费用，单位：元/t。

由于 $q_j$ 是外包商聘人来装卸的，因此 $q_j$ 与 $q_n$ 不同。

则外包商的总费用为：

$$C_p = C_{p,1} + C_{p,2} = k \overset{m}{=} 1 \left[\left(\frac{2\sqrt{2}}{3}\pi\rho_i r_k^3 t_j + \pi r_k^2 \cdot \rho_i \cdot \beta \cdot D_k\right) + 4q_j \cdot \pi \cdot (R^2 - r^2) \cdot \rho_i\right] \tag{10}$$

**2.3　秸秆的预处理成本**

外包商在收集秸秆过程中，为运输方便，需要对

秸秆进行粉碎、压缩与打包等预处理。预处理成本[22] $C_d$ 由设备运行成本 $C_{d,o}$ 与折旧成本 $T_y$ 组成。

运行费用 $C_{d,o}$ 式为：

$$C_{d,o} = \pi \cdot (R^2 - r^2) \cdot \rho_i \cdot O \cdot C_o \tag{11}$$

其中：$O$ 表示单位耗油量，单位：$L/t$；$C_o$ 表示单位油价，单位：元/L。

$T$ 表示设备购置费用，则年折旧额在平均折旧法计算下为：

$$T_y = T \times \frac{(1 - RV)}{n} \tag{12}$$

其中：折旧年限为 $n$；固定资产净残值率为 $RV$。

因此总预处理费用为：

$$C_d = C_{d,o} + T_y = \pi \cdot (R^2 - r^2) \cdot \rho_i \cdot O \cdot C_o + T \times \frac{(1 - RV)}{n} \tag{13}$$

## 2.4 秸秆的储存成本

秸秆的储存费用包括场地的租赁费和人工管理费。其计算公式为：

$$C_s = \pi \cdot (R^2 - r^2) \cdot \rho_i \cdot e_i \tag{14}$$

其中：$e_i$ 表示单位存储费用，单位：元/t。

## 2.5 秸秆回收物流成本

秸秆的回收物流成本还包括农户和外包商的目标利润费用。农户与外包商的利润 $M$ 为：

$$M = \pi r^2 \rho_i \cdot v_i + \pi (R^2 - r^2) \rho_i \cdot w_i \tag{15}$$

其中：$v_i$ 为农户得到的单位利润，单位：元/t；$w_i$ 为外包商得到的单位利润，单位：元/t。

则秸秆回收物流成本为：

1）农户-电厂模式下的回收物流成本 $C_1$：

$$C_1 = C_h = \frac{2\sqrt{2}}{3} \pi \rho_i r^3 t_n + 2q_n \cdot \pi r^2 \rho_i \tag{16}$$

2）农户-外包商-电厂模式下的回收物流成本 $C_2$：

$$C_2 = C_h + C_p + C_s + M = \pi \cdot \rho_i \cdot \left[ \frac{2\sqrt{2}}{3} r^3 \cdot t_n + 2q_n \cdot r^2 + k \overset{m}{=} 1 \left( \frac{2\sqrt{2}}{3} r_k^3 t_j + r_k^2 D_k \right) + R^2 \cdot a_i + (R^2 - r^2)(4q_j + w_i + e_i + O \cdot C_o) \right] + T \times \frac{(1 - RV)}{n} \tag{17}$$

**3实例分析**

山东省某一生物质发电厂，规模为25MW，其正常发电所需的秸秆量约30万t，该地区能够利用的秸秆密度为95.9t/km$^2$。调研得知其秸秆的收集半径为70km，距电厂半径为10km的范围内，农户选择自行运送秸秆至电厂。据相关统计年鉴及实地调研，外包商的数量为10人，将预处理点均选取在离电厂约40km的位置[10]。图5为此生物质电厂所在区域地图。

**图 5　生物质发电厂区域地图**

Fig. 5　Biomass power plant area map

3.1农户-电厂模式

当作物种植密集且分布在距电厂半径为10km的范围内时，秸秆由农户直接运输至电厂。以作物小麦为例，其种植密度较大，相关参数如表1[23]。现根据式（4）及式（16）代入数据计算，得到秸秆回收物流成本表（表2）。

由表2可知，当作物分布距离电厂较近且较密集时，农户-电厂模式的回收物流成本中运输成本高达74.13%，目标利润所占比重较低。因此秸秆由农户送往电厂时，控制好运输成本对降低回收物流成本更为有利。

表 1　麦秸收集参数

Table 1　Wheat straw collection parameters

| 指标 Index | 数值 Value | 指标 Index | 数值 Value |
|---|---|---|---|
| $r$ | 10.00 | $\pi$ | 3.14 |
| $R$ | 70.00 | $t_n$ | 2.00 |
| $v_i$ | 10.00 | $q_n$ | 5.00 |
| $\beta$ | $\sqrt{2}$ | $a_i$ | 75.00 |
| $\rho_i$ | 22.14 | — | — |

表 2　农户-电厂模式回收物流成本分析表

Table 2　Recycling logistics cost analysis of farmer-power plant model

| 项目 Project | 运输成本 Transportation cost | 目标利润 Target profit | 回收物流成本 Recycling logistics cost |
|---|---|---|---|
| 金额/万元 Amount | 20.06 | 7.00 | 27.06 |
| 百分比/% Proportion | 74.13 | 25.87 | 100 |

3.2农户-外包商-电厂模式

当作物均匀分布在距电厂半径为70km的范围内时，半径10km范围内的秸秆由农户运送，半径10km范围以外且半径70km范围以内的秸秆由外包商处理。以作物水稻为例，相关参数如表3。此时依据式（4）、式（10）、式（14）及式（17）代入数据运算，得到秸秆回收物流的成本如表4。

表 3　稻秆收集参数

Table 3　Rice straw collection parameters

| 参数 Parameter | 数值 Value | 参数 Parameter | 数值 Value |
|---|---|---|---|
| $r$ | 10.00 | $\pi$ | 3.14 |
| $R$ | 70.00 | $t_n$ | 2.00 |
| $v_i$ | 10.00 | $q_n$ | 5.00 |
| $w_i$ | 50.00 | $a_i$ | 70.00 |
| $\rho_i$ | 18.19 | $q_j$ | 10.00 |
| $t_j$ | 5.00 | $D_k$ | 40.00 |
| $O$ | 0.85 | RV | 0.50 |
| $T$ | 20.00 | $C_o$ | 7.72 |
| $n$ | 15.00 | $r_k$ | 20.00 |
| $e_i$ | 30.00 | $\beta$ | $\sqrt{2}$ |

表4 农户-外包商-电厂模式回收物流成本分析表

Table 4 Recycling logistics cost analysis of farmer-agent-power plant model

| 项目 Project | 储存成本 Storage cost | 预处理成本 Preprocessing cost | 运输成本 Transportation cost | 目标利润 Target profit | 回收物流成本 Recycling logistics cost |
|---|---|---|---|---|---|
| 金额/万元 Amount | 822.48 | 180.00 | 3 582.61 | 1 376.51 | 5 961.60 |
| 百分比/% Proportion | 13.79 | 3.03 | 60.09 | 23.09 | 100 |

秸秆的购买成本为1439.40万元，可得秸秆的总收集成本为7401.00万元，则单位收集成本为246.70元/t。由实际调研得到的收集成本约981260.00元/t，本研究计算的结果与实际成本相差不大，因此模型精度较高。秸秆的运输成本占回收物流成本60.09%，成为秸秆回收物流成本居高的主要因素。

**4秸秆回收物流成本敏感性分析**

实际秸秆分布广且密度低，仅靠农户运送的秸秆量根本不够，因此电厂所需的秸秆资源往往扩大范围进行收集，即在农户-外包商-电厂模式下分析影响秸秆回收物流成本的主要因素，使分析结果真实准确。

4.1分析影响秸秆回收物流成本的主要因素

据表4统计，比重最高的三部分为运输成本、目标利润和储存成本。收集半径决定运输成本，目标利润视本地的行情，储存时间决定储存成本。现将这3个因素均增大10%、20%、30%、40%、50%，计算后的总成本变动情况如图6。

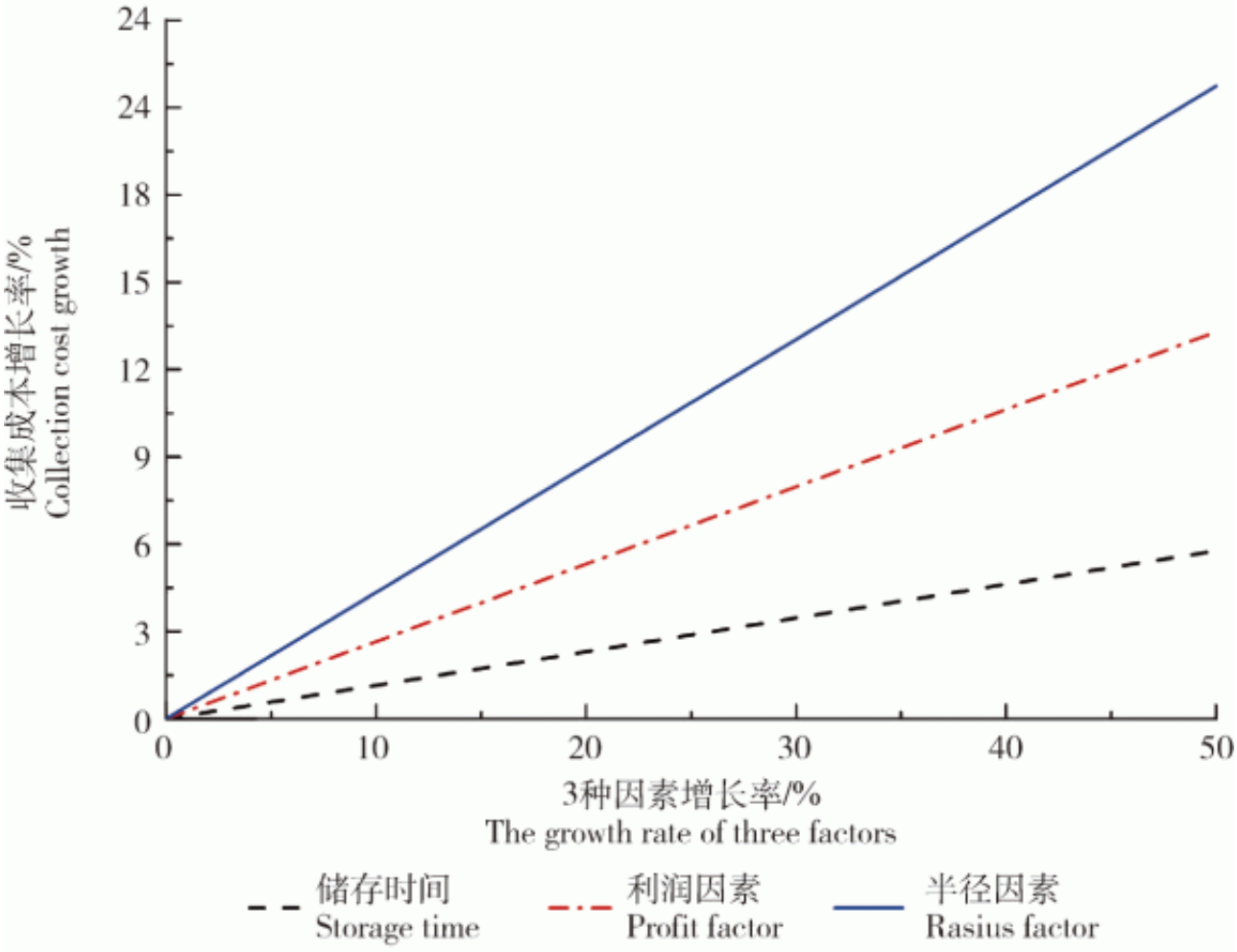


图 6　增长率对比分析图

Fig. 6　The growth rate of contrast analysis diagram

图6为收集成本随3种因素增长率的变化而变化的趋势，很明显，收集半径因素对秸秆回收物流成本影响最大。因此为降
低秸秆的回收物流成本，应适当减小收集半径。且生物质电厂在选址时要充分考虑其周围能够获取的秸秆量[24-25]。

4.2成本变化分析

外包商利润也是回收物流成本的重要组成部分。据调查，当地外包商利润约60元/t，且一般外包商的收集半径约为20km时，能各自有效工作。现将外包商的人数设置在区间4~15内，测算外包商数量对运输成本、储存成本以及总回收物流成本的影响。

由图7可知，在外包商数量增加过程中，回收物流成本呈马蹄形变化，并且在外包商数量为10人时，得到最小回收物流成本。分析可得：当数量在4~10人之间时，随着人数的增加，竞争力也不断增大，使得外包商利润缩减，从而导致回收物流成本减少；当人数在10人以上时，随着人数的增多，外包商之间出现恶性竞争，使得秸秆的购买价格大幅上涨，回收物流成本随之增加。

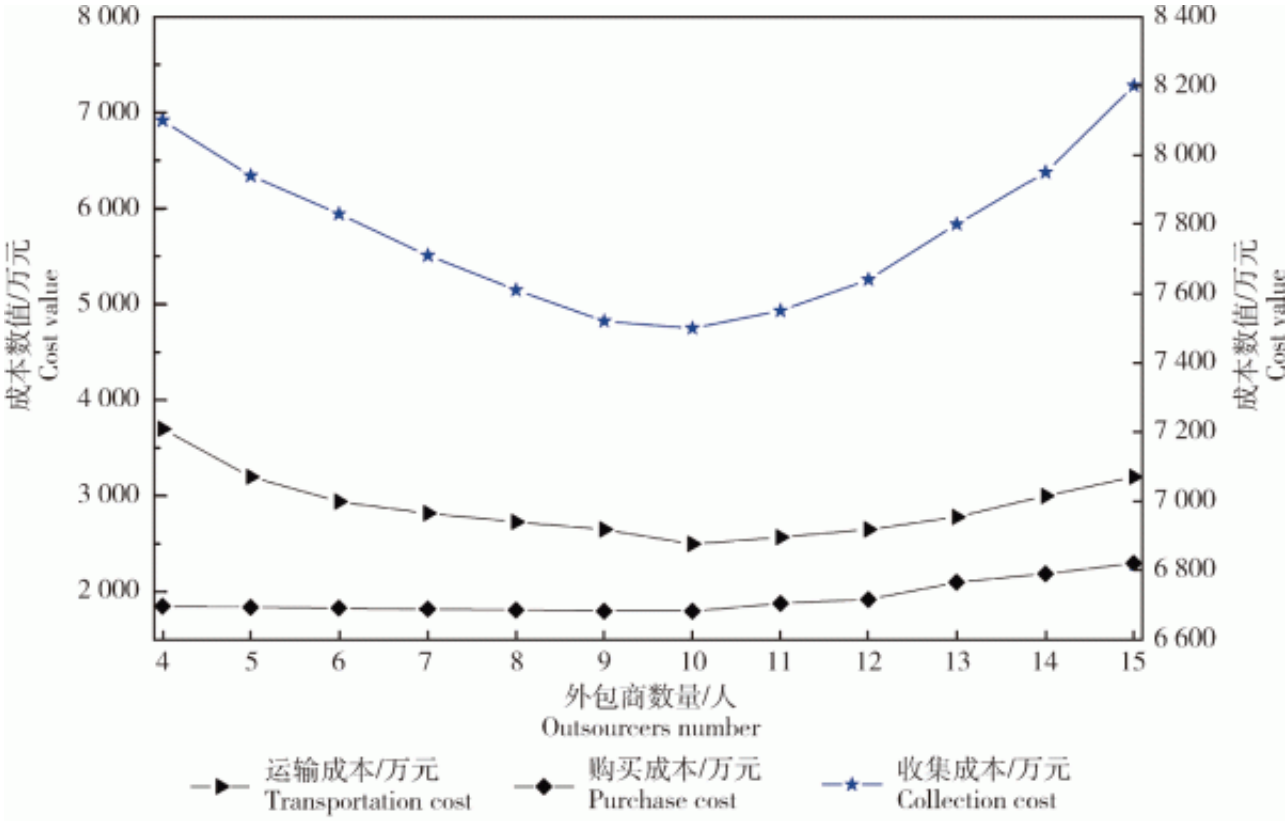


图 7　成本变化分析图

Fig. 7　Cost analysis diagram

**5结论与建议**

当今生物质发电产业发展迅猛且成就可观，但仍然面临燃料收集困难、发电成本高等诸多挑战。本研究在“农户-电厂”模式和“农户-外包商-电厂”模式下探索回收物流的成本结构和影响因素，并对山东某生物质发电厂燃料秸秆的回收物流进行了实证分析，本研究就实证分析结果，得到以下结论与建议：

1）半径因素是影响回收物流成本最重要的因素，适当减小收集半径可很大程度上降低运输费用。收集秸秆时，为使最终回收物流的成本最低，可将外包商的个数控制在10个左右。

2）生物质发电厂的选址须考虑当地秸秆原料的获取能力和供应能力。为避免造成“抢秸秆”的恶性竞争，在初期选址时要合理规划，政府严格准入，避免一定区域内密集建厂。并且政府审核秸秆发电项目时，应充分考虑地区的秸秆供应能力，判断该地区是否适宜建厂，避免因原料不易获取导致收集半径增大。

3）合理规划生物质电厂的规模。生物质电厂的规模并非越大越好，规模越大，秸秆燃料用量越多，导致收集半径扩大，增大运输费用，因此合理规划生物质电厂的规模尤为重要。

4）政府加大政策扶持力度，加快秸秆综合利用技术的创新和推广。鼓励农民在村中建立秸秆暂存点进行秸秆的储存。另外，加大科技投入，消化吸收国外先进技术，加强与高校的产学研合作，解决秸秆综合利用的技术难题，将秸秆综合利用与农民增收切实结合起来，转化为实际生产力。

5）促进农户、外包商和生物质电厂之间的合作发展机制。形成成熟且正式的组织进行运作，增强秸秆燃料供应的专业性和系统性，规范秸秆的利用，减少外包商除购买秸秆以外的成本，进而降低生物质发电厂的发电成本。

## 参考文献 References

[1] 檀勤良，潘昕昕，王瑞武，张兴平，张充. 生物质发电供应链协同演化研究：基于山东省生物质发电厂的实证研究[J]. 中国农业大学学报，2017，22(2)：190-196
Tan Q L，Pan X X，Wang R W，Zhang X P，Zhang C. Research on synergetic evolution of biomass electricity generation supply chain：An empirical study on biomass power plant in Shandong Province[J]. *Journal of China Agricultural University*，2017，22(2)：190-196 (in Chinese)

[2] 高建伟，张昊渤，纵翔宇. 生物质电厂秸秆收购优化方案及其成本估算模型[J]. 可再生能源，2017，35(1)：141-147
Gao J W，Zhang H B，Zong X Y. Optimization of straw purchase scheme and cost estimation[J]. *Renewable Energy Resources*，2017，35(1)：141-147 (in Chinese)

[3] Qin Y，Xie S D. Historical estimation of carbonaceous aerosol emissions from biomass open burning in China for the period 1990－2005[J]. *Environmental Pollution*，2011，159(12)：3316-3323

[4] Van Dyken S，Bakken B H，Skjelbred H I. Linear mixed-integer models for biomass supply chains with transport，storage and processing[J]. *Energy*，2010，35(3)：1338-1350

[5] 魏巧云. 生物质发电秸秆供应链物流成本研究[D]. 北京：中国农业大学，2014
Wei Q Y. Research on supply chain logistics cost of straw for biomass power generation [D]. Beijing：China Agricultural University，2014 (in Chinese)

[6] 翟明岭，张旭，程飞，赵浩亮，苏醒. 生物质发电中农户秸秆供应成本敏感性分析[J]. 动力工程学报，2016，36(7)：569-588
Zhai M L，Zhang X，Cheng F，Zhao H L，Su X. Sensitivity analysis on supply cost of farmer straw for power generation [J]. *Journal of Chinese Society of Power Engineering*，2016，36(7)：569-588 (in Chinese)

[7] 赵浩亮，张旭，翟明岭. 秸秆直燃生物质电厂动态发电成本分析[J]. 动力工程学报，2015，35(5)：412-417
Zhao H L，Zhang X，Zhai M L. Analysis on dynamic cost of straw direct combustion power generation[J]. *Journal of Chinese Society of Power Engineering*，2015，35(5)：412-417 (in Chinese)

[8] Cucek L，Varbanov P S，Klemes J J，Zdravko K. Total footprints-based multi-criteria optimization of regional biomass

energy supply chains[J]. *Energy*,2012,44(1):135-145

[9] 王燕,沈辉. 生物质发电供应链的完全信息动态博弈分析[J]. 价值工程,2010(19):41-42
Wang Y,Shen H. A complete information and dynamical game analysis of biomass electricity generation supply chain[J]. *Value Engineering*,2010(19):41-42 (in Chinese)

[10] 檀勤良,杨海平,张兴平,邓艳明,魏咏梅. 生物质发电燃料收集成本测算模型及实证分析[J]. 中国科技论坛,2014,4(5):117-123
Tan Q L, Yang H P, Zhang X P, Deng Y M, Wei Y M. Measurement model and empirical analysis of fuel collection cost for biomass power generation[J]. *Forum on Science and Technology in China*,2014,4(5):117-123 (in Chinese)

[11] 王贤华,王德元,陈汉平,杨海平,张世红,戴贤明. 生物质能资源收集系统研究[J]. 太阳能学报,2011,32(11):1666-1668
Wang X H,Wang D Y,Chen H P,Yang H P,Zhang S H,Dai X M. Study on the biomass energy resources supply system [J]. *Acta Energiae Solaris Sinica*, 2011, 32(11): 1666-1668 (in Chinese)

[12] Tatsiopoulos I P, Tolis A J. Economic aspects of the cotton-stalk biomass logistics and comparison of supply chain methods [J]. *Biomass and Bioenergy*,2003,24(3):199-214

[13] Zhu X Y,Li X P,Yao Q Z,Chen Y R. Challenges and models in supporting logistics system design for dedicated-biomass-based bioenergy industry[J]. *Bioresource Technology*,2011,102(2):1344-1351

[14] 邢爱华,刘罡,王垚,魏飞,金涌. 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,2004,8(2):306-307
Xing A H,Liu G,Wang Y,Wei F,Jin R. Economic,energy and environment analysis on biomass collection process[J]. *The Chinese Journal of Process Engineering*,2004,8(2):306-307 (in Chinese)

[15] Perpiñá C,Alfonso D,Pérez-Navarro A,Penalvo E,Vargas C, Cardenas R. Methodology based on geographic information systems for biomass logistics and transport optimization[J]. *Renewable Energy*,2009,34:555-565

[16] 高建伟,张昊渤,纵翔宇. 生物质电厂秸秆收购优化方案及其成本估算模型[J]. 可再生能源,2017,35(1):141-146
Gao J W, Zhang H B, Zong X Y. Optimization of straw purchase scheme and cost estimationon biomass power generation[J]. *Renewable Energy Resources*,2017,35(1):141-146 (in Chinese)

[17] 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):463-466.
Cao Y,Shen H. A research on collection cost in the process of straw power generation[J]. *Electricity and Energy*,2012,33(5):463-466 (in Chinese)

[18] 赵浩亮,张旭,翟明岭. 生物质电厂秸秆燃料收集范围优化分析[J]. 太阳能学报,2016,37(4):997-1001
Zhao H L, Zhang X, Zhai M L. Optimization and analysis of collection scale of straw fuel for biomass power plant[J]. *Acta*

*Energiae Solaris Sinica*, 2016, 37(4): 997-1001 (in Chinese)

[19] 刘华财，阴秀丽，吴创之. 秸秆供应成本分析研究[J]. 农业机械学报，2011，42(1)：106-112

Liu H C, Yin X L, Wu C Z. Cost analysis of crop residue supplies [J]. *Transations of the Chinese Society of Agricultural Machinery*, 2011, 42(1): 106-112 (in Chinese)

[20] 方艳茹，廖树华，王林风，任兰天，谢光辉. 小麦秸秆收储运模型的建立及成本分析研究[J]. 中国农业大学学报，2014，19(2)：28-35

Fang Y R, Liao S H, Wang L F, Ren L T, Xie G H. Model establishment and cost analysis on wheat straw logistics system[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2014, 19(2): 28-35 (in Chinese)

[21] Overend R P. The average haul distance and transportation work factors for biomass delivered to a central plant [J]. *Biomass*, 1982, 2(1): 75-79

[22] 朱开伟，刘贞，贺良萍，林金钗. 中国主要农作物秸秆可新型能源化生态经济总量分析[J]. 中国农业科学，2016，49(19)：3769-3785

Zhu K W, Liu Z, He L P, Lin J C. Eco-Economic potential analysis of Chinese main crops' bio-energy utilization straw resources[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2016, 49(19): 3769-3785 (in Chinese)

[23] 翟明岭，张旭，程飞，苏醒. 农户秸秆处置及供生物质电厂成本分析[J]. 同济大学学报：自然科学版，2016，44(3)：440-445

Zhai M L, Zhang X, Cheng F, Su X. Analyses of farmers' straw-disposal condition and biomass supply cost for power [J]. *Journal of Tongji University: Natural Science*, 2016, 44(3): 440-445 (in Chinese)

[24] 彭春艳，罗怀良，孔静. 中国作物秸秆资源量估算与利用状况研究进展[J]. 中国农业资源与区划，2014，35(3)：14-20

Peng C Y, Luo H L, Kong J. Advance in estimation and utilization of crop residues resources in China [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2014, 35(3): 14-20 (in Chinese)

[25] 吴娟娟，霍丽丽，赵立欣，姚宗路，孟海波，侯书林. 国内外农作物秸秆供应模型研究进展[J]. 农机化研究，2016(2)：263-268

Wu J J, Huo L L, Zhao L X, Yao Z L, Meng H B, Hou S L. Research progress of crop straw supply model at home and abroad[J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2016(2): 263-268 (in Chinese)

原文地址：http://www.china-nengyuan.com/tech/158118.html