

河南省农业生物质资源能源利用潜力分析

王爱军, 张 燕, 张小桃

(华北水利水电学院 电力学院, 河南 郑州 450011)

摘要: 为了挖掘农业生物质资源的能源利用潜力, 根据河南省农业统计数据(农作物产量和畜禽养殖量), 经计算可知, 河南省每年可用农业生物质资源量折合标准煤约 3 045 万 t; 采用不同的生物质供热和发电技术, 每年具有 1.74×10^7 MJ 供热潜力和 542 亿 kW·h 发电潜力, 可节省 2 455 万 t 标准煤。河南省农业生物质资源具有巨大的能源利用潜力。

关键词: 农业生物质资源; 能源潜力; 标准煤

中图分类号: TK6 文献标志码: A 文章编号: 1004-3268(2012)07-0076-04

Analysis of the Energy Utilization Potential of Agricultural Biomass Resources of Henan Province

WANG Ai-jun, ZHANG Yan, ZHANG Xiao-tao

(North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450011, China)

Abstract: In order to exploit the energy utilization potential of agricultural biomass resources, based on Henan agricultural statistics (output of major farm crops and number of livestock and fowl), after calculation the results show that the total annual available energy of agricultural biomass resources is equivalent to that provided by 30.45 million tons of standard coal, which can supply 1.74×10^7 MJ quantity of heat and 54.2 billion kW·h of electricity annually by using different biomass heating and power generation technology, and annual coal-saving amount can reach 24.55 million tons of standard coal. Agricultural biomass resources of Henan province have huge energy utilization potential.

Key words: agricultural biomass resources; energy utilization potential; standard coal

生物质能通过热转换技术可以成为易于使用的二次能源, 为用户提供热能和电力^[1-2]。农业生物质包括农业废弃物、畜禽废弃物、能源作物等。农业废弃物主要指农作物收获后的副产品, 如稻草、麦秸、玉米秸秆等, 是我国主要的生物质资源之一。其利用形式多样, 其中饲料占 25%, 肥料占 15%, 工业原料占 9%, 其余的 51% 可以作为能源资源^[3]。畜禽废弃物主要是畜禽等饲养动物如牛、猪和家禽的粪便, 目前主要的处理方式是直接还田、排入江河、堆肥, 作为能源加以利用的不足 10%, 开发潜力较

大^[4]。对农业生物质资源的能源利用潜力进行评估, 可以为生物质能资源开发规划的制定、利用方式方法的选择提供参考。

生物质供热和发电的方式不同, 热利用效率也有较大的差别, 相同数量和质量生物质资源采用不同的供热和发电方式将提供不同数量的热能和电能。因此, 在评估生物质资源时, 需要根据生物质资源的分布、数量和环境条件, 采用可行有效的利用方式, 提高生物质资源的利用效率, 使生物质资源的能源利用潜力得到最大程度的挖掘。文中主要讨论农

收稿日期: 2012-02-12

基金项目: 河南省教育厅自然科学研究计划(2011B480006); 郑州市 2011 年度技术与开发项目(112PPTGY222-11)

作者简介: 王爱军(1967-), 男, 河南温县人, 副教授, 硕士, 主要从事热能工程及新能源利用方面的研究。

E-mail: wangaijun@ncwu.edu.cn

业废弃物和畜禽废弃物的资源数量以及能源开发潜力计算方法,估算河南省农业生物质资源的供应量、生物质资源的潜在供热总量和发电总量。

1 生物质资源能源利用潜力分析方法

1.1 分析方法

对生物质资源能源利用潜力的评估通常采用标准煤折算的方法,把生物质资源的能源潜力折合为标准煤量。文中对生物质资源和能源潜力的评估采用以下方法:

(1) 根据统计资料,计算生物质资源的总产量;

(2) 将不同生物质资源的能源潜力以热量形式来表示,即折算成标准煤量;

(3) 根据目前以及未来生物质的利用技术和效率,计算和评估生物质能转换成的二次能源量;

(4) 根据燃煤机组供热和发电技术参数,计算生物质利用后可以代替的原煤用量,即节省的标准煤量。

1.2 农业生物质资源供应潜力模型

1.2.1 农业废弃物 农业废弃物产量采用草谷比方法进行估算。草谷比指农作物秸秆等废弃物产量与农作物产量之比值,与农作物种类有关。农业废弃物产量采用如下公式计算:

$$M_{bi} = M_{pi} S_{gi} \quad (1),$$

式中, M_{bi} 为农业废弃物产量(kg/a), M_{pi} 为农作物产量(kg/a), S_{gi} 为草谷比。

用标准煤折算系数法来计算农业废弃物资源能源利用潜力,标准煤折算系数的计算公式为:

$$x_{bi} = \frac{LHV_{biomass}}{LHV_{coal}^s} \quad (2),$$

式中, x_{bi} 为农业废弃物的标准煤折算系数, $LHV_{biomass}$ 为农业废弃物的低位发热量(kJ/kg), LHV_{coal}^s 为标准煤的低位发热量,取 29 271 kJ/kg。

农业废弃物的低位发热量大约在 15 000 ~ 18 000 kJ/kg,其标准煤转换系数通常为 0.5 ~ 0.6。农业废弃物的能源折合标准煤量的计算公式为:

$$B_{bi} = M_{bi} x_{bi} \quad (3),$$

式中, B_{bi} 为农业废弃物折合标准煤量(kg/a)。

农业废弃物资源的能源利用潜力指可用于能源的农业废弃物数量。定义可以用作能源的生物质量占整个生物质资源总量的比例为生物质资源的能源利用系数。则农业废弃物的能源利用潜力可采用下面公式计算:

$$B_{si} = a_i B_{bi} \quad (4),$$

式中, B_{si} 为可用农业废弃物折合标准煤量(kg/a), a_i 为能源利用系数。

1.2.2 畜禽废弃物 畜禽废弃物作为能源利用的最佳方式是进行厌氧菌发酵产生沼气,进而进行供热或发电。不同种类的畜禽废弃物产生的沼气和沼气中的甲烷含量不同,则低位发热量也不同,则标准煤折算系数也不同。畜禽废弃物折算标准煤方法与农业废弃物的折算方法类似。下面讨论沼气产量及产生的热量的计算方法。

1 只动物 1 d 的产粪干质量为:

$$W = w \cdot d \cdot a \quad (5),$$

式中, W 为 1 只动物 1 d 的产粪干质量[kg/(只·d)], w 为 1 只动物的平均质量(kg/只), d 为单位质量动物每天的产粪量[kg/(kg·d)], a 为粪的干物质含量(kg/kg)。

根据动物的产粪干质量,可以得到沼气产量为:

$$V = W \cdot v \quad (6),$$

式中, V 为 1 只动物 1 d 干粪的产沼气量[m³/(只·d)], v 为单位质量产沼气量(m³/kg)。

由甲烷含量可以估算出沼气的低位热值,其计算公式为:

$$LHV_{bgas} = LHV_{CH_4} \cdot b \quad (7),$$

式中, LHV_{bgas} 为沼气的低位热值(kJ/m³), LHV_{CH_4} 为甲烷的低位热值(kJ/m³), b 为沼气中的甲烷含量(%)。

畜禽粪便产生沼气的能量为:

$$Q_i = LHV_{bgas} \cdot V \cdot m \cdot n \quad (8),$$

式中, Q_i 为单一畜禽粪年产生沼气能量(kJ/a), V 为 1 只动物 1 d 的沼气产量[m³/(只·d)], m 为 1 种畜禽 1 a 的可获得数量(只), n 为 1 a 的天数(d)。

1.3 农业生物质资源能源利用潜力计算模型

1.3.1 供热潜力模型 农业废弃物供热潜力为:

$$Q_1 = g_1 \cdot B_1 \cdot LHV_{coal}^s \cdot \eta_{1g} \quad (9),$$

式中, Q_1 为农业废弃物供热潜力(kJ/a), g_1 为供热部分占农业废弃物折标准煤量的比例, B_1 为可作为能源利用的农业废弃物折算标准煤总量(kg/a), η_{1g} 为农业废弃物供热效率(%)。

畜禽废弃物供热潜力为:

$$Q_2 = g_2 \cdot B_2 \cdot LHV_{coal}^s \cdot \eta_{2g} \quad (10),$$

式中, Q_2 为畜禽废弃物年供热潜力(kJ/a), g_2 为供热部分占畜禽废弃物折合标准煤量的比例, B_2 为可用畜禽废弃物产沼气能折合标准煤量(kg/a), η_{2g} 为沼气供热效率(%)。

农业生物质总供热潜力为:

$$Q = Q_1 + Q_2 \quad (11),$$

式中, Q 为生物质供热潜力(kJ/a)。

1.3.2 发电潜力模型 农业废弃物的发电潜力为:

$$Pe_1 = \sum \frac{B_{1i} \cdot LHV_{coal}^s \cdot \eta_{1i}}{3\ 600} \quad (12),$$

式中, Pe_1 为农业废弃物的总发电量($\text{kW} \cdot \text{h/a}$), B_{1i} 为不同发电技术的生物质燃料折合标准煤量(kg/a), η_{1i} 为相应的生物质发电效率($\%$)。

沼气的发电潜力为:

$$Pe_2 = \sum \frac{B_{2i} \cdot LHV_{coal}^s \cdot \eta_{2i}}{3\ 600} \quad (13),$$

式中, Pe_2 为沼气的总发电量($\text{kW} \cdot \text{h/a}$), B_{2i} 为不同技术的沼气燃料折标准煤量(kg/a), η_{2i} 为对应的沼气发电效率($\%$)。

农业生物质总的发电潜力为:

$$Pe = Pe_1 + Pe_2 \quad (14),$$

式中, Pe 为生物质的总发电量($\text{kW} \cdot \text{h/a}$)。

1.3.3 节煤潜力模型 供热部分节省标准煤量为:

$$B_g^c = \frac{Q}{LHV_{coal}^s \cdot \eta_{g1}} \quad (15),$$

式中, B_g^c 为供热部分节省标准煤量(kg/a), η_{g1} 为燃煤锅炉供热效率($\%$)。

发电部分节省标准煤量为:

$$B_d^c = \frac{3\ 600 Pe}{LHV_{coal}^s \cdot \eta_{ep}} \quad (16),$$

式中, B_d^c 为供电部分节省标准煤量(kg/a), η_{ep} 为燃煤机组发电效率($\%$)。

农业生物质总节煤潜力为:

$$B^c = B_g^c + B_d^c \quad (17),$$

式中, B^c 为节省标准煤量(kg/a)。

2 河南省农业生物质资源能源利用潜力

2.1 农业废弃物能源供应潜力

河南省农作物产量采用河南省统计局 2011 年发布的河南省农业统计数据^[5]。河南省主要农作物年产量如表 1 所示。

表 1 河南省主要农作物年产量

| 项目 | 玉米 | 小麦 | 水稻 | 棉花 | 花生 |
|-----------------------------------|-------|-------|-----|----|-----|
| 年产量/($\times 10^4 \text{ t/a}$) | 1 894 | 3 700 | 642 | 52 | 493 |

不同种类的农业废弃物其草谷比不同,草谷比的确定是农作物产量计算的关键,文中采用毕于运等^[6]的计算方法计算。

主要农作物草谷比如表 2 所示。

表 2 主要农作物草谷比

| 项目 | 玉米秸/玉米 | 玉米芯/玉米 | 麦秸/小麦 | 稻草/稻谷 | 谷壳/稻谷 | 棉秸/皮棉 | 花生壳/花生果 |
|----|--------|--------|-------|-------|-------|-------|---------|
| 比值 | 1.2 | 0.25 | 1.1 | 0.9 | 0.27 | 9.2 | 0.313 |

在已知河南省粮食产量的基础上通过草谷比得出秸秆量。由文献^[7]可以得到不同生物质废弃物种类的低位发热量。根据前述计算模型,可以计算出各种农业废弃物的标准煤折算系数和年折合标准煤量。河南省农业废弃物能源量计算结果如表 3 所示。

表 3 河南省农业废弃物能源量

| 生物质种类 | 年产量/($\times 10^4 \text{ t}$) | 低位发热量/(kJ/kg) | 标准煤折算系数 | 折合标准煤量/($\times 10^4 \text{ t}$) |
|-------|---------------------------------|--------------------------|---------|------------------------------------|
| 玉米秸 | 2 272.8 | 17 746 | 0.606 3 | 1 378.0 |
| 玉米芯 | 473.5 | 17 730 | 0.605 7 | 286.8 |
| 麦秸 | 4 070.0 | 18 532 | 0.633 1 | 2 576.7 |
| 棉秸 | 478.4 | 18 089 | 0.618 0 | 295.7 |
| 稻草 | 577.8 | 17 636 | 0.602 5 | 348.1 |
| 稻壳 | 173.3 | 16 017 | 0.547 2 | 94.9 |
| 花生壳 | 154.3 | 21 417 | 0.731 7 | 112.9 |
| 总量 | 8 200.1 | — | — | 5 093.1 |

由表 3 可知,河南省农业废弃物能源折合标准煤总量为每年 5 093.1 万 t。根据中国电力科学研究院的研究,我国约有 51% 的农业废弃物可作为能源使用。文中将河南省农业废弃物能源利用系数取 0.51,则河南省每年可作为能源使用的农业废弃物折合标准煤为 2 597 万 t。

2.2 畜禽粪便能源供应潜力

养殖动物产生的废弃物与动物种类、质量等有关。不同种类畜禽的平均质量、每天产粪尿量、干物质含量及产生沼气和沼气中甲烷含量不同。甲烷含量决定了沼气的品质即沼气所含热量。文中参考了肖波、姚向君等^[8-9]提供的数据。畜禽粪便相关参数如表 4 所示。

表 4 畜禽粪便相关参数

| 动物种类 | 平均质量/(kg/只) | 产粪尿量/($\text{kg/(kg} \cdot \text{d})$) | 干物质含量/ $\%$ | 产沼气量/(m^3/kg) | 甲烷含量/ $\%$ |
|------|------------------------|--|-------------|---------------------------------|------------|
| 牛 | 240 | 0.062 | 8 | 0.205 | 59 |
| 猪 | 61 | 0.084 | 13 | 0.425 | 65 |
| 家禽 | 2 | 0.036 | 2 | 0.310 | 67 |

根据河南省统计局 2011 年发布的统计数据中禽畜的数量^[5],可计算年畜禽废弃物能源资源的总量,具体计算结果如表 5 所示。

表 5 河南省畜禽废弃物能源量

| 畜禽种类 | 动物数量/($\times 10^4 \text{ 只}$) | 年产干粪量/($\times 10^4 \text{ t}$) | 年产沼气量/($\times 10^4 \text{ m}^3$) | 标准煤折算系数 | 折合标准煤量/($\times 10^4 \text{ t}$) |
|------|----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|---------|------------------------------------|
| 牛 | 1 010.20 | 438.9 | 89 980.2 | 0.723 6 | 65.1 |
| 猪 | 4 547.00 | 1 105.5 | 469 850.0 | 0.797 2 | 374.6 |
| 家禽 | 62 104.00 | 32.6 | 10 119.0 | 0.821 7 | 8.3 |
| 总量 | 67 661.20 | 1 577.1 | 569 949.2 | — | 448.0 |

注:表 5 中沼气的标准煤折算系数指每立方米沼气折合的标准煤千克数。

由表 5 可知,河南省畜禽废弃物能源折合标准煤总量为每年 448.0 万 t。畜禽废弃物直接还田或排入江河湖泊会造成地下水污染,我国倡导畜禽废弃物的综合利用,先产生沼气进行能源利用,沼气渣再作为肥料还田。因此,文中取畜禽废弃物能源利用系数为 1,即将所有畜禽废弃物作为能源进行利用,则河南省可用的畜禽废弃物能源折合标准煤总量为每年 448.0 万 t。

2.3 农业生物质能源利用潜力分析

2.3.1 供热潜力 河南省可获得农业废弃物能源折合标准煤可用总量为每年 2 597 万 t,其中 20%用于供热,相当于标准煤 520 万 t;畜禽废弃物能源折合标准煤总量为每年 448 万 t,其中 50%用于供热,相当于标准煤 224 万 t。则河南省用于供热的生物质能源总量折合标准煤约为每年 744 万 t。

假设生物质供热效率为 80%,提供总热能每年 1.74×10⁷ MJ。标准煤的供热效率取 85%,则每年可以节省标准煤 700 万 t。

2.3.2 发电潜力 农业废弃物也可以用来发电,发电方式常采用直燃、混燃、气化等发电技术。可用农业废弃物的 80%用于发电,根据不同发电技术的发电效率,可以估算其发电潜力。河南省农业废弃物资源的发电潜力如表 6 所示,畜禽废弃物能源沼气发电潜力如表 7 所示。

由表 6 和表 7 可知,农业废弃物发电潜力为每年 469.5 亿 kW·h,沼气发电潜力为每年 72.3 亿 kW·h。农业废弃物和畜禽废弃物总的发电潜力约为每年 542 亿 kW·h。

表 6 河南省农业废弃物资源的发电潜力

| 项目 | 直燃 | 混燃 | 内燃机 | 气化燃气—蒸汽联合循环 |
|-------------------------------|-------|-------|------|-------------|
| 能源分配/% | 50 | 25 | 10 | 15 |
| 发电效率/% | 20 | 38 | 30 | 35 |
| 年发电量/(×10 ⁸ kW·h) | 169.2 | 160.7 | 50.8 | 88.8 |
| 年总发电量/(×10 ⁸ kW·h) | 469.5 | | | |

表 7 河南省禽畜废弃物沼气发电潜力

| 项目 | 内燃机 | 燃气轮机 | 汽轮机 |
|-------------------------------|------|------|------|
| 能源分配/% | 40 | 30 | 30 |
| 发电效率/% | 43 | 40 | 35 |
| 年发电量/(×10 ⁸ kW·h) | 31.3 | 21.9 | 19.1 |
| 年总发电量/(×10 ⁸ kW·h) | 72.3 | | |

注:生物质能源沼气发电采用内燃机、燃气轮机、小型汽轮发电机等发电技术。

以煤为燃料的 300MW 燃煤机组,发电效率为 38%,年运行小时数为 6 500 h,年发电量约为 19.5 亿 kW·h,年耗标准煤量为 63.11 万 t。农业废弃物和畜禽废弃物总的发电潜力约相当于 27.8 台 300 MW

燃煤机组 1 a 的发电量,年节省标准煤 1 755 万 t。

综合上述,河南省农业生物质资源除去用作肥料、饲料、工业原料外,可以作为能源的用量达到每年 3 045 万 t 标准煤,根据文中的热电分配比例,可提供热能 1.74×10⁷ MJ 和电力 542 亿 kW·h。从现有的供热和发电技术看,生物质能的利用每年可以节省 2 455 万 t 标准煤。

3 结论与讨论

农业生物质的资源化、能源化、产业化利用,可以变废为宝,是优化能源结构、保障能源安全的重要措施。河南省是农业大省,农作物秸秆资源非常丰富,畜禽养殖业发达。目前用于发电和供热的农作物秸秆和畜禽废弃物只是很少数部分,将这些秸秆和畜禽废弃物集中收集,采用适当的技术加以利用,将会节省大量燃煤。

农业废弃物资源分布比较分散,会增加收集、运输和储存的成本。因此,在利用生物质资源时,要因地制宜,结合各地区资源的总量和特点,发展区域供热、生物质直燃发电或沼气发电。

与国外相比,我国生物质能源的开发利用还处于初级阶段,生物质能源发展过程中还存在诸多问题。生物质能源的产业化基础薄弱,产业链不完整,技术服务体系不健全,生产成本低。因此,生物质各种利用技术的实施需要政府在政策方面大力支持。

另外,还需要不断研究和开发新的生物质能利用技术,如生物质与煤混燃发电技术等。

参考文献:

[1] 谢冬生. 中国农村生物质能发展的机遇、挑战与发展战略[J]. 世界农业, 2012, 380(12): 28-30.

[2] 马春红, 李运朝, 刘旭, 等. 生物质能源研究进展与前景展望[J]. 河北农业科学, 2011, 15(3): 117-12.

[3] 中国电力科学研究院生物质能研究室. 生物质能及其发电技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2008.

[4] 沈剑山. 物质能源沼气发电[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2009.

[5] 河南省统计局. 河南统计年鉴—2011[M]. 北京: 中国统计出版社, 2011.

[6] 毕于运, 高春雨, 王亚静, 等. 中国秸秆资源数量估算[J]. 农业工程学报, 2009, 25(12): 211-212.

[7] 杨勇平, 董长青, 张俊娇. 生物质发电技术 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2007.

[8] 肖波, 周英彪. 生物质能循环经济技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.

[9] 姚向君, 王革华. 国外生物质能的政策与实践[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.