

DOI: 10.13719/j.cnki.1009-6825.2023.15.006

北方地区生物质颗粒燃料全生命周期碳排放评价*

李佳仑, 苑翔*

(北方工业大学土木工程学院, 北京 100144)

摘要:分析了生物质固体颗粒燃料的全产业链和特性,根据产业链划分了生物质固体颗粒燃料的全生命周期碳排放边界,通过把全生命周期划分为种植阶段、生产阶段、运输阶段和使用阶段等4个阶段组成,主要的碳排放阶段为生产阶段和运输阶段,建立了碳排放计算模型,通过计算得到北方地区生物质固体颗粒燃料的平均碳排放为0.09 g CO₂/kg,只占其燃烧使用阶段碳排放的5.3%,从全生命周期来看,生物质固体颗粒燃料碳排放量很小,可看作是零碳能源。

关键词:生物质固体颗粒;全生命周期;碳排放

中图分类号: TU241.91

文献标识码: A

文章编号: 1009-6825(2023)15-0022-04

1 概述

“双碳”目标提出以来,社会各行业都为目标的实现制订行之有效的技术路径和行动方案。能源领域是实现双碳目标最重要的领域,能源系统减少碳排放的基本措施是减少化石能源的应用,采用可再生能源替代化石能源。生物质燃料具有可再生和环境友好的双重特点,被认为是未来可持续能源系统的重要能源,可以看作一种绿色能源,是一种新型洁净能源。

生物质能源在农村地区具有很好的应用前景。碳中和制度下,农村的清洁供暖地位会越来越重要。政府在减排的国家要求和农村供暖之间很难找到科学的平衡手段。我国建筑运行能耗一直维持在社会总能耗的20%~25%,北方城镇建筑采暖和农村生活用煤约为1.6亿t标煤/a,北方城镇采暖能耗约占全国建筑总能耗的36%,为建筑能源消耗的最大组成部分^[1]。在采暖能源种类中,煤是主要的能源种类。民用散煤主要集中在城乡结合部和村镇,村镇、城乡结合部的散煤治理是难点。据不完全统计,在我国1.6亿户农村居民家庭中,采取分散采暖模式的约有9300万户,其中燃煤采暖约6600万户,年散煤使用量约2亿t~3亿t,占到煤炭终端消费量的10%左右^[2]。

作物秸秆是农作物生产系统中一项重要的生物质能源。我国是秸秆资源最为丰富的国家,每年可生产秸秆约8.2亿t,但是秸秆的资源化利用率不足70%。随着农作物单产的提高,农业主产区出现秸秆资源大量过剩的问题,农民直接焚烧秸秆等粗放处理手段直接造成了严重的环境污染问题与资源浪费。合理有效地利用秸秆资源,直接关系到资源的充分利用以及经济的可持续发展。根据我国《生物质能发展“十三五”规划》,到2020年,生物质能基本实现商业化和规模化利用。生物质发电总装

机容量达到1500万kW,年发电量900亿kW时,其中农林生物质直燃发电700万kW,生物质固体燃料年利用量3000万t^[3-4]。

生物质固体燃料主要利用形式是生物质颗粒的形式。生物质颗粒采暖炉的生产技术及设备的研发已经发展成熟,系统简单,初投资少,颗粒燃烧后有灰渣,是散煤采暖炉的理想替代品,有的地区甚至直接用散煤采暖炉来燃烧生物质颗粒采暖,生物质颗粒的热值与散煤相当,价格比散煤稍贵。因此,生物质颗粒燃料在北方农村地区具有很广泛的应用前景。本文根据生物质颗粒的全产业链,提取生物质颗粒的碳排放计算边界,给出碳排放计算模型,为生物质颗粒的碳排放计算提供依据。

2 碳排放计算边界

生物质固体燃料的全产业链如图1所示。全产业链包括原材料种植、固体燃料加工、农林高附加值产业、燃料设备制造等4个领域。原材料种植是基础的产业,所有的植物性生物质来源都是有植物种植,本文主要讨论植物源的生物质能源,不考虑有动物性生物质能源。

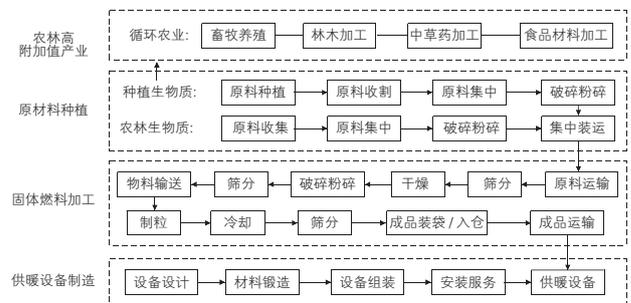


图1 生物质固体燃料全产业链示意图

原材料种植以后,生物质固体燃料的难点就是原料的收集和集中,原材料种植包括两种情况:一种是能源植

收稿日期: 2022-11-16

*基金项目: 大学生创新创业训练计划项目(项目编号: X202210009055)

作者简介: 李佳仑(2002-),男,在读本科生,建筑环境与能源工程专业

*通信作者: 苑翔(1978-),男,博士,副教授,从事建筑节能和再生能源研究

物,即专门生产生物质燃料的种植物,另一种是农林作物的废弃物,两种原材料的生产过程区别不大,主要的区别在收集难度上,在本文中不做严格区分。

生物质燃料设备的制造产业属于工业设备制造,设备制造的过程属于工业领域的碳排放,在计算生物质燃料的碳排放过程中,可以不考虑设备制造的碳排放。

根据以上分析,可以列出生物质固体燃料的碳排放边界,如图 2 所示。生物质固体燃料的全生命周期碳排放由种植阶段、生产阶段、运输阶段和使用阶段等 4 个阶段组成,主要的碳排放阶段为生产阶段和运输阶段,包括运输阶段柴油车的碳排放,生产阶段主要包括原料筛分、干燥、破碎粉碎、秸秆输送、制粒、颗粒输送、颗粒冷却、颗粒筛分等阶段^[5-6]。

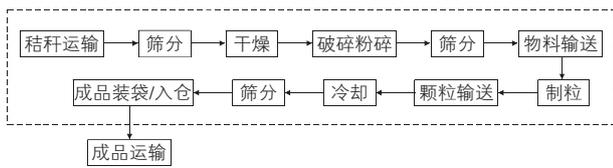


图 2 生物质颗粒燃料碳排放边界

在生物质固体燃料碳排放边界划定中,做以下规定:

1) 对于大型生物质固体成型燃料,由于农作物秸秆量大分散、发酵后沼渣需要还田等问题,故将秸秆收运以及沼渣运输过程划入系统边界。

2) 秸秆是农作物种植过程中所产生的副产品,农业种植的目的是为了生产粮食而不是为了得到生物质原料,所以在此作物生长过程中的能耗以及环境排放不计入系统。

3) 厂房基建所需材料种类多、不同工程建设建材差异性较大,工程建设能耗数据获取较为困难;另外,工程建设阶段所产生的排放占系统整体的排放比重较大,对于最终评价结果的影响较大,并且大部分文献在探讨时未将其计入边界内,故在此不将其计入系统。

3 碳排放计算模型

以“联合国政府间气候变化专门委员会”(Intergovernmental Panel on Climate Change,以下简称 IPCC)所提出的碳排放计算模型最为广泛认可,其具体形式如下:

$$\text{排放量} = \text{活动水平} \times \text{活动因子}。$$

根据 IPCC 的碳排放计算模型,生物质颗粒全生命周期碳排放量可以表示为式(1):

$$C = Q \times EF \quad (1)$$

其中, C 为生物质颗粒全生命周期碳排放量, kgCO_2 ; Q 为全生命周期能源消耗量,能耗单位; EF 为对应能源的碳排放因子。

对应全生命周期的碳排放,包含有多个阶段,因此碳排放量又可以表示为式(2):

$$C = \sum C_i = \sum Q_i \times EF_i \quad (2)$$

即碳排放可以表示为各阶段各类能源碳排放的

总和^[7-8]。

1) 原料运输阶段。生物质颗粒碳排放的重要阶段是原料运输阶段,原料主要通过柴油货车运输,计算方法如下:

$$C_1 = Q_i \times EF_i = q_y \times G \times R \times EF_i \quad (3)$$

其中, q_y 为运输工具平均油耗量, $\text{L}/(\text{t} \cdot \text{km})$; G 为生物质原料收集量, t ; R 为生物质原料运输半径, km 。

生物质原料主要通过柴油货车运输,货车的平均耗油量为 $0.08 \text{ L}/(\text{t} \cdot \text{km})$ 。单车运输距离通过收集半径模型计算,单车运输距离可按式(4)计算:

$$R^2 = M/\pi M_0 \alpha \beta \quad (4)$$

其中, R 为秸秆的收集半径, km ; G 为年秸秆收集总量, t ; M_0 为单位面积秸秆废弃物总量, kg/m^2 ; α 为作物种植面积的比例; β 为秸秆废弃物用于能源的比例。

2) 原料生产阶段。原料生产阶段包括原料筛分、干燥、破碎粉碎、秸秆输送、制粒、颗粒输送、颗粒冷却、颗粒筛分等环节,每个环节的生产工艺相类似,都是由电动设备来操作,消耗的能源主要是电力,其碳排放计算可按式(5)计算:

$$C_2 = Q_i \times EF_i = q_s \times t \times EF_i \quad (5)$$

其中, q_s 为生产设备电机功率, kW ; t 为生产时间, s 。

生产设备主要有磁板除铁器、斗式提升机、高效破碎机、烘干机、输送机、制粒机、冷却机和筛分机等。各设备的功率可由生产企业提供,也可以采用平均值。

3) 原料种植和使用阶段。由于生物质原料在种植过程中是吸收碳,而使用过程中排出碳,因此,可以把原料种植和使用阶段两个阶段的碳排放相互抵消,认为这两个阶段的碳排放总和为零,原料种植过程中的一些农机设备能源消耗所排碳忽略不计。

4 计算案例

北方某地区有一生物质固体成型燃料工程,设计每天制粒 2 000 t(含水率中水的质量分数为 9.91%),全年制粒 50 万 t。秋季的秸秆含水率中水的质量分数为 30%~70%(本工程取 50%)。在 2 000 t 的调节下,每天所需秸秆 4 000 t,每年所需 100 万 t。由于在实际生产预处理阶段会折耗一定量秸秆,在此以 110% 比例对秸秆消耗量进行估计(基于生命周期评价的生物质能源环境影响评价),得到每天秸秆的消耗量为 4 400 t,每年所需秸秆为 110 万 t。

1) 运输阶段。秸秆主要通过柴油货车运输,货车的平均耗油量为 $0.08 \text{ L}/(\text{t} \cdot \text{km})$ 。运输总面积为 $22\ 100 \text{ km}^2$;全区玉米种植面积为 $4\ 613 \text{ km}^2$;工程所需秸秆收集总量为 110 万 t;秸秆用于能源的比例为 43%。由式(4)计算可得收集半径约为 78.1 km。由式(6)可计算出运输过程每年的柴油消耗量为:

$$1\ 100\ 000 \text{ t/a} \times 0.08 \text{ L}/(\text{t} \cdot \text{km}) \times 78.1 \text{ km} = 6\ 872\ 800 \text{ L/a} \quad (6)$$

2) 生产阶段。生产阶段各机电设备的性能参数见表 1。

表 1 机电设备性能参数

设备名称	磁板除铁器	滚筒烘干机	高效破碎机	木糠机	震动分级筛	板链输送机	制粒机	板链输送机	逆流式冷却机	滚筒筛
电机功率/kW	15	80.5	220	150	0.25 1.5	3.5	90	3.5	4.65	1.2
台数/台	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
生产效率	20 t/h	1.6 t/h	5 t/h	9 t/h	1.5 t/h	3 t/h	900 kg/h	3 t/h	4.5 t	2 t/h
						(8 m)		(8 m)		

根据计算模型和各设备的性能参数,总体的能耗数据计算见表 2。

3) 碳排放因子。最终的污染物总排放是根据不同物料的排放系数而计算得出的。本研究中主要涉及的物料

表 2 各阶段能耗计算表

秸秆原料运输阶段能耗/(L·a ⁻¹)	秸秆原料筛分阶段能耗/(kW·h)	秸秆干燥阶段能耗/(kW·h)	秸秆破碎粉碎阶段能耗/(kW·h)	秸秆筛分阶段能耗/(kW·h)	秸秆输送阶段能耗/(kW·h)	秸秆制粒阶段能耗/(kW·h)	颗粒输送阶段能耗/(kW·h)	颗粒冷却阶段能耗/(kW·h)	颗粒筛分阶段能耗/(kW·h)	成品装袋/入仓阶段能耗/(kW·h)
6 872 800(柴油)	3.75 × 10 ⁵	164 × 10 ⁵	226.3 × 10 ⁵	0.54 × 10 ⁵	3.80 × 10 ⁵	325 × 10 ⁵	2.91 × 10 ⁵	3.81 × 10 ⁵	2.5 × 10 ⁵	1.5 × 10 ⁵

表 3 碳排放和污染物排放因子

项目	CO ₂	SO ₂	CH ₄	NO _x	CO	VOC	PM ₁₀	N ₂ O
电/(g·kWh ⁻¹)	610	9.93	2.6	6.46	1.55	0.487	20.2	—
柴油/(g·MJ ⁻¹)	74.03	0.016	0.004 18	0.284	0.474	0.085 3	0.041 2	0.001 9

表 4 污染物和碳排放表

项目	CO ₂	SO ₂	CH ₄	NO _x	CO	VOC	PM ₁₀	N ₂ O
秸秆原料运输阶段	1.39 × 10 ⁵	50.0	13.07	889.17	1 481.98	266.74	129	4.75
秸秆原料筛分阶段	1.21 × 10 ⁵	1 861.87	487.5	1 211.25	290.63	91.32	3 787.5	—
秸秆干燥阶段	105.7 × 10 ⁵	81 426	21 320	52 972	12 710	3 993.4	165 640	—
秸秆破碎粉碎阶段	122.3 × 10 ⁵	70 999.5	18 590	46 189	11 082.5	3 482.05	144 430	—
秸秆筛分阶段	0.35 × 10 ⁵	268.11	70.2	174.42	41.85	13.15	545.4	—
秸秆输送阶段	2.45 × 10 ⁵	1 886.7	494	1 227.4	294.5	92.53	3 838	—
秸秆制粒阶段	209.5 × 10 ⁵	161 362.5	42 250	104 975	25 187.5	7 913.75	328 250	—
颗粒输送阶段	2.95 × 10 ⁵	2 273.97	595.4	1 479.34	354.95	111.525	4 625.8	—
颗粒冷却阶段	3.4 × 10 ⁵	2 621.52	686.4	1 705.44	409.2	128.57	5 332.8	—
颗粒筛分阶段	0.86 × 10 ⁵	660.345	172.9	429.59	103.075	32.385	1 343.3	—
成品装袋/入仓阶段	2.02 × 10 ⁵	1 554.045	406.9	1 010.99	242.575	76.215	3161.3	—
总过程	452.1 × 10 ⁵	3.25 × 10 ⁵	0.85 × 10 ⁵	2.0 × 10 ⁵	0.52 × 10 ⁴	0.2 × 10 ⁵	6.61 × 10 ⁵	4.75

5 结论

随着国家发展,清洁能源在环境保护中起着极大的作用。生物质颗粒系统简单,初投资少,是散煤采暖炉的理想替代品,生物质颗粒的热值与散煤相当,是推进北方地区冬季清洁取暖,关系北方地区广大群众温暖过冬,关系雾霾天能不能减少,是能源生产和消费革命、农村生活方式革命的重要内容。根据各种秸秆处理方式所计算得到的环境影响值可以得出:

1) 生物质固体燃料在全生命周期内对于环境的影响较小,但是在系统全流程中是人力消耗最多的阶段。

2) 农村生物质成型燃料的原料收集、加工和运输都是能源应用的难题和障碍。减少生物质固体颗粒燃料在运输和生产阶段的能耗,有助于减少生物质固体颗粒燃料的碳排放。

3) 生物质固体颗粒燃料在全生命周期内碳排放量很小,属于零碳能源,采用生物质固体燃料不仅可以替代北

方地区散煤,而且为北方地区实现双碳目标提供一种良好的能源种类的选择。

根据表 3,可根据表 4 计算出污染物的总排放。

根据生产企业的年产量为 50 万 t,则由表 4 中的碳排放数据可以得出,生物质固体颗粒的碳排放数据为 0.09 g CO₂/kg,从全生命周期来看,生物质固体燃料的碳排放量还是很小的,与生物质固体燃料在燃烧时的碳排放数据 1.68 g CO₂/kg(按照生物质颗粒热值 4 000 kcal/kg 计算)相比较来看,生产阶段和运输阶段的 CO₂ 总和仅为燃烧时排出 CO₂ 量的 5.3%,又因为生物质原料在生长过程中吸收 CO₂,因此,总体上看,生物质固体颗粒燃料全生命周期碳排放量很小^[10-11]。

参考文献:

[1] 清华大学建筑节能研究中心. 中国建筑节能年度发展研究报告 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2020.

[2] 中国农村能源行业协会节能炉具专业委员会. 中国供暖炉具行业发展报告 [R]. 北京: 中国农村能源行业协会节能炉具专业委员会, 2016.

[3] 国家发展改革委, 国家能源局, 财政部, 等. 北方地区冬季清洁取暖规划(2017—2021 年) [EB/OL]. [2018-08-17]. http://www.ndrc.gov.cn/zcfb/zcfbtz/201712/t20171220_871052.html.

[4] 江 亿. 清洁供暖: 解决我国社会主要矛盾的一个实践 [N]. 中国建设报, 2017-11-16(5).

(下转第 38 页)

- 学报,2021(12):87-93.
- [8] 蔡恭,祝龙光,金庆康,等.廿八都镇志[M].北京:中国文史出版社,2007:422-449.
- [9] 张力智.儒学影响下的浙江西部乡土建筑[D].北京:清华大学,2014:94-96.
- [10] 林琳,朱永春.穿斗式大木结构类型与谱系:以福州“三坊七巷”传统建筑为例[J].建筑学报,2011(增刊2):94-98.
- [11] 李龙飞,吴秀峰,刘继远,等.穿斗式木结构边节点传力特性及分析[J].山西建筑,2020,46(6):39-41.
- [12] 丁俊青,杨新平.浙江民居[M].沈阳:辽宁民族出版社,1996:179,213,224.
- [13] 张海滨.从“过白”看赣北敞厅:天井式住居类型及谱系流布[J].建筑遗产,2018(4):38-48.



An analysis of the architectural memes of traditional residential buildings in multicultural interlaced area★

Jiang Jishui^{1,3}, Long Shuojun^{2*}, Liu Zhezhen³

(1. School of Architecture and Urban Planning, Hunan City University, Yiyang Hunan 413000, China;

2. Hunan Vocational College of Engineering, Department of Engineering Design, Changsha Hunan 410151, China;

3. Department of Architecture and Art, Central South University, Changsha Hunan 410018, China)

Abstract: This paper introduces the concept of Meme into the study of traditional residential buildings, and discusses the memetics of traditional residential buildings in multicultural interlaced areas. Taking Nianbadu ancient town at the border of Zhejiang, Fujian and Jiangxi provinces as examples, this paper analyzes the architectural features and its causes of traditional residential buildings in Nianbadu based on the perspective of meme. By extracting the architectural memes of Nianbadu traditional residential buildings, this paper constructs the memes map of Nianbadu traditional residential buildings. The study of this paper will provide a new perspective for the study of traditional residential building in the multicultural interlaced areas.

Key words: traditional residential building; architectural meme; multicultural interlaced area; Nianbadu

(上接第24页)

- [5] 檀勤良.生物质能发电环境效益分析及其燃料供应模式[M].北京:石油工业出版社,2014.
- [6] 相龙方,李军,王继荣,等.生物质燃料发电供应链博弈分析[J].物流科技,2011,34(6):98-100.
- [7] 刘俊伟,田秉晖,张培栋,等.秸秆直燃发电系统的生命周期评价[J].可再生能源,2009,27(5):102-106.
- [8] 王长波,陈永生,张力小,等.秸秆压块与燃煤供热系统生命周期环境排放对比研究[J].环境科学学报,2017,37(11):4418-4426.
- [9] 住房和城乡建设部.建筑碳排放计算标准:GB/T 51366—2019[S].北京:建筑工业出版社,2019.
- [10] Muhammad Bilal, Hafiz M. N. Iqbal. Recent Advancements in the Life Cycle Analysis of Lignocellulosic Biomass [J]. Current Sustainable/Renewable Energy Reports, 2020, 7(3): 171-196.
- [11] Conservation Research; Study Findings on Conservation Research Are Outlined in Reports from University of British Columbia (Life Cycle Assessment of Forest-based Biomass for Bioenergy: a Case Study In British Columbia, Canada) [J]. Ecology Environment & Conservation, 2019(31): 128.



Assessment of carbon emissions from biomass particulate fuel throughout its lifecycle in the northern region★

Li Jialun, Yuan Xiang*

(School of Civil Engineering, North China University of Technology, Beijing 100144, China)

Abstract: The whole industry chain and characteristics of biomass solid particulate fuel are analyzed. According to the industry chain, the carbon emission boundary of the whole life cycle of biomass solid particulate fuel is divided. The whole life cycle is divided into four stages: planting stage, production stage, transportation stage and use stage. The main carbon emission stages are production stage and transportation stage. A carbon emission calculation model is established, it is calculated that the average carbon emission of biomass solid particulate fuel in northern China is 0.09 g CO₂/kg, accounting for only 5.3% of its carbon emission in the burning stage. From the perspective of the whole life cycle, the carbon emission of biomass solid particulate fuel is very small, which can be regarded as zero carbon energy.

Key words: biomass solid particles; full life cycle; carbon emission