

# 欧盟国家生物质能源供热利用综合分区——欧洲经验对中国的借鉴

宋晨晨<sup>1</sup>，何继江<sup>1</sup>，张浩然<sup>2</sup>

(1.清华大学能源转型与社会发展研究中心，北京100084；2.日本东京大学空间信息科学研究中心，日本东京277-8568)

**摘要：**供热是全球最大的能源消费领域，全球终端能源消费中供热占到50%左右。2019年国际能源署指出：发展可再生能源供热已经成为全球应对气候变化、治理环境污染、促进能源转型与可持续发展的关键途径。生物质能源作为优先发展的可再生供热来源而受到世界各国的重视。欧盟国家生物质供热事业发展较早、技术较为成熟、政策体系较为完善，其生物热能占欧盟可再生热能消费总量的86%，效果颇为显著，成为供热行业脱碳的重要动力，在全球范围具有极高的示范效应。文章构建欧盟国家生物质能源供热利用综合分区理论框架，基于对生物质能源供热体系供需潜力的测算，通过FCM法对欧盟28个国家的生物质资源利用现状进行量化分区。结果表明，欧盟各国生物质能源供热利用存在显著差异，可以分为五类利用综合区，分别是重点发展类（芬兰、瑞典、丹麦、爱沙尼亚、立陶宛和拉脱维亚）、资源优先类（奥地利、克罗地亚、保加利亚、罗马尼亚和斯洛文尼亚）、政策导向类（德国、意大利、葡萄牙和塞浦路斯）、潜力良好类（捷克、匈牙利、希腊、西班牙、波兰、法国和斯洛伐克）和匮乏迟缓类（英国、荷兰、比利时、爱尔兰、卢森堡和马耳他）。同时，探讨不同类型的欧盟国家生物质供热利用的特点和形成原因，并结合中国现阶段供热实际情况及未来可再生能源发展即将面临的挑战，总结欧盟国家成熟的供热体系和丰富的供热经验，提出有利于中国清洁供暖发展、能源高效利用、能源供应安全以及能源结构升级的一些启示和借鉴。

2019年10月21日，国际能源署（IEA）[1]发布的《可再生能源2019至2024年的分析和预测》报告中显示，到2024年全球可再生能源的热消费将比2019年增长五分之一，中国、欧盟、印度和美国占全球可再生热量消费增长的三分之二，其中生物能源是最大的可再生热能来源。然而，生物质能源供热的消耗仍然不能满足现代能源供热的需求，不足以实现全球气候目标[2]，生物质供热潜力的开发和利用仍然需要世界各国更有力的措施和政策加以扶持、推动。

中国为响应联合国2030年可持续发展目标，致力于解决环境污染和气候变化等严峻问题，逐年加大对可再生能源发展的技术支持和政策引导。2018年中国《北方地区冬季清洁取暖规划（2017—2021）》规划中指出[3]，到2021年中国生物质能清洁供暖面积达到21亿m<sup>2</sup>。生物质作为绿色、低碳、经济的可再生能源，是替代化石能源实现清洁供热，有效应对大气污染和雾霾灾害的重要举措。国家能源局发布的《生物质能发展“十三五”规划》中对中国分布式农林生物质热电联产、生活垃圾焚烧、用户侧替代等生物质能源供热的智能发展制定了明确的目标[4]。

欧洲国家生物质能源供热事业发展较早，综合利用技术成熟，政策制度较为完善[5-6]。欧盟许多国家位于高纬度、高海拔地区，冬季漫长寒冷，供暖需求巨大，他们较早将生物质作为优先发展的可再生能源供热来源并予以高度的重视，越来越多的家庭、工业、地区供热网络和建筑都依赖生物质能，生物质能在多国供热领域的开发利用已经成为重要的产业。近十几年，欧盟国家可再生能源供热在供热能源总量中占比显著上升，从2004年的10%上升到2017年的20%。欧盟生物质供热占最终能源消费量的比重大于10%的国家有14个，其中拉脱维亚占比最高，为33.21%。其次是芬兰、瑞典、爱沙尼亚、丹麦和立陶宛，占比超过20%。克罗地亚、奥地利、罗马尼亚在15%左右，葡萄牙、斯洛文尼亚、保加利亚、捷克和匈牙利生物质供热占最终能源消费量的比重在11%左右。然而，不同欧盟国家因其地理位置、气候条件、自然资源、政策背景、技术水平、环境理念、可持续发展目标的不同，导致其生物质能源供热体系的供需状况和发展水平存在差异性[7-8]。本研究基于欧盟28个国家生物质供热生态系统的供需现状，对不同主体生物质能源供热利用现状进行分类研究，探讨不同类型的国家生物质供热利用的特点和形成原因，并与中国现阶段供暖实际相结合，学习欧盟国家生物质能源管理利用的丰富供热经验，对中国清洁供暖发展、减少化石能源依赖、能源供应安全以及能源结构升级具有一定的启示和借鉴意义。

## 1理论框架

生物质能源供热是一个供需体系，供给侧是生物质资源量潜力，需求侧是人们对生物质能源的供热消耗，生物质资源量潜力和生物质供热消耗直接决定生物质供热系统的平衡。同时，生物质供热系统也是半自然化和半人工化的系统[4]，主要由自然成分和人工成分构成。其中，生物质供热体系的自然成分包括耕地资源、森林资源、水热资源、城市垃圾、动物粪便、污水污泥等物质资源要素，是生物质供热的主要物质来源[9]；生物质供热体系的人工成分主要包括供热技术、农业生产技术、垃圾处理技术、政策扶持、工业工程、经济环境等人类输出要素，它们规范物质资源的使用并促进生物质供热生态系统的各种功能得以实现[10]。人类输出要素将所有物质资源要素输入系统，通过“半自然化-半人工化”供需运行，最终可以实现生物质供热系统的生产、生活和生态功能。

通过对研究主体生物质供热供需系统的评价，了解到生物质能源供热利用现状，在人口条件、生态环境、经济环境和政治环境的影响下[11]，对不同研究主体的生物质能源供热利用情况进行综合分区研究。最后，结合生物质供需系统服务质量（如技术水平、能源安全，气候目标和创新发展的）反馈，可以调整生物质供热系统的结构和运行条件，以提供更高效率的生物质供热利用能力[12]（图1）。

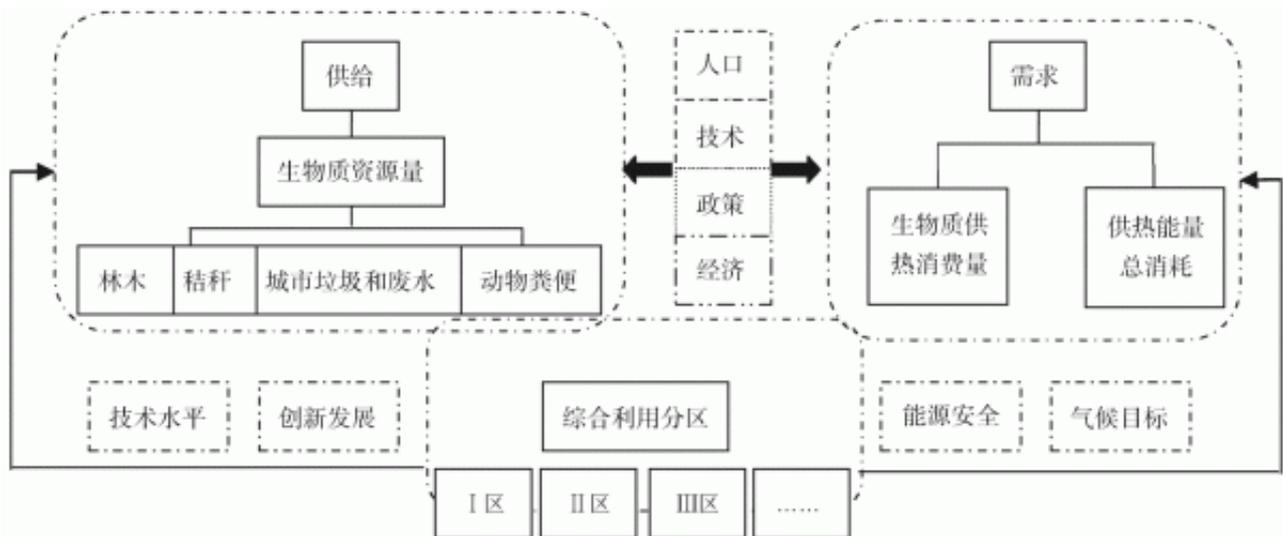


图1 生物质能源供热利用综合分区理论框架

## 2研究对象、数据来源与研究方法

### 2.1研究对象与数据来源

文章以欧盟28个成员国为研究对象（包括英国），研究样本以2008—2018年间欧盟成员国各国的年度统计数据、联合国（Eurostat）统计数据、国际可再生能源署（IEA）统计数据为数据源。其中涉及的研究数据包括矢量数据和统计数据。矢量数据来自欧盟地图。在统计数据方面，可用于供热的生物质资源主要来自林业废弃物、木质工业废弃物、动物废弃物、农作物废弃物、养殖业废弃物、城市废弃物、污水废弃物和能源终端利用的种植作物。具体可以归纳为林木生物质、秸秆和农作加工剩余物、城市垃圾和废水、动物粪便四类[13]。因此生物质资源量的具体观测值包括森林木材可供应量、农作物供应量、动物粪便总量、城市固体垃圾总量、污水污泥量、人口量。生物质供热能源需求的观测值为生物质供热消费量和供热能量总消耗。

作者用的数据处理工具主要有Matlab2019a和Spss22.0。通过Spss22.0软件对观测数据进行整理并将各个指标标准化处理。Matlab2019a可以各个指标通过混合模糊聚类算法进行聚类。

### 2.2研究方法

#### 2.2.1供需潜力测算

通过指标法对生物质供热供给潜力和需求潜力的测算，用以分析欧盟国家生物质供热现状。国内外对生物质资源量进行测算有不同的方法，欧盟地区常采用自下而上生物质能源潜力估算法（Bottom Up Approach）[14]。文章所指的生物质资源量为理论可获得量，即欧盟成员国蕴藏生物质能源全部理论产量的总和，并且假设成员国之间生物质资源不进行输送和交换[15]。

#### 2.2.2模糊聚类分析

指标法、经验法和聚类法都可作为区域划分的方法，考虑到生物质供热综合利用分区的供给与需求多指标间信息量重叠性以及区域划分的模糊特征性，因此，以欧盟国家行政区域为基本单元，采用模糊C-均值（Fuzzy C-Means, FCM）[16-17]聚类算法对欧盟国家生物质供热利用情况进行混合模糊聚类分区。FCM算法的目的是找到一种最佳的分类结果，这是目前国际上常用的一种聚类方法。它首先将个样本分类，然后指定样本之间和类之间的距离。之后，它选择距离最小的一对样本合并到一个新类中，并重新计算距离，然后合并距离最近的两个类，以此类推，直到所有样本合并到一个类中为止。具体步骤为：

(1) FCM 算法的聚类中心和隶属度。假设模糊矩阵  $U = \{u_{ij}\}$ , 样本为  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 。将样本分为  $c$  类且  $1 \leq c \leq n$ 。  $C_j$  为第  $j$  个聚类中心。  $\|x_i - c_j\|$  表示  $x_i$  到  $c_j$  的欧式距离,  $u_{ij}$  为第  $i$  个样本对于第  $j$  类的隶属度。

$$\text{FCM 目标函数为: } J = (U, u) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^m u_{ij}^b \|x_i - c_j\|$$

(2) 设置初始化控制参数。种群个体大小设置为  $sizepop = 28$ , 最大进化次数设置为  $MAXGEN = 10$ , 交叉概率设置为  $P_c = 0.7$ 。生成初始种群  $Chrom$ 。

(3) 对群体  $Chrom$  进行遗传计算。计算新产生个体的  $C$  个聚类中心。通过新个体替换旧个体原则, 将新产生个体的聚类中心和隶属度计入, 放弃旧个体。如果  $gen < MAXGEN$ , 那么  $gen = gen + 1$ , 重新对群体  $Chrom$  进行遗传计算, 否则, 进行步骤 (4)。

(4) 如果  $T_i < T_{end}$ , 则算法结束, 返回全局最优解。否则继续进入降温计算  $T_{i+1} = kT_i$ , 回到步骤 (2) 的计算。

### 3 生物质供热供需潜力测算

#### 3.1 供给潜力测算

##### 3.1.1 生物质资源实物量

生物质资源主要来自林木生物质、秸秆和农作加工剩余物、城市垃圾和废水、动物粪便四个方面[18]。林木生物质资源是指林木生长、林业生产和加工活动的剩余物, 秸秆是各种农作物收籽后剩余的植株。城市垃圾是指所有未被单独收集或进一步用作材料的生活垃圾。废水包括生活废水和工业废水。动物粪便主要指家畜、家禽在养殖过程中产生的所有粪便(包括液体和固体)。逐一对林木生物质资源量、秸秆资源量、城市垃圾和废水资源量、动物粪便资源量进行测算[19-24], 计算方法详见表1所示。

表1 生物质资源实物量(理论蕴藏量)

资源种类	主要来源	资源量影响因素	理论蕴藏量	计算公式	主要参数
林木	薪柴林、贫瘠林、经济林抚育修枝；灌木林平茬；商品林采伐；林产品加工和其他(剩余物)	林木种类、林木面积、林木生长区域、可取剩余物系数等	林木生长/生产面积 × 单位面积生物质产量	$FR = \sum_{i=1}^n Q_{f_i} \times RPR$	FR 为林木资源实物量, $Q_{f_i}$ 是指被第 i 种林木覆盖区域的资源量, RPR 为第 i 种林木产量系数
秸秆	粮食作物、油料、糖料、麻类、药材、蔬菜瓜果和其他作物(剩余物)	农作物种类、生产阶段、谷草比系数、农田微地貌、收获习惯等	作物的产量 × 谷草比系数 <sup>[28]</sup>	$CR = \sum_{i=1}^n Q_{c_i} \times RPR$	CR 为秸秆资源实物量, $Q_{c_i}$ 为第 i 类农作物的产量, RPR 是第 i 种农作物产生的剩余生物量比率
城市垃圾和废水	有机垃圾、无机垃圾、生活污水、工业废水	垃圾处理技术、垃圾清运量、化学需氧量 COD 等	城市垃圾资源实物量 + 废水产生沼气量	$WR = SW + WW = SW + Q_{wc} \times r_1 \times r_2$	SW 为垃圾资源实物量, WW 为废水资源量, SW 为废水总量, $r_1$ 为废水中 COD 平均含量, $r_2$ 为单位 COD 产生沼气量
动物粪便	牛、猪、禽、羊、马、驴(排泄量)	禽畜数量、种类、品种成长期、性别、饲养周期等 <sup>[28]</sup>	年畜禽数量 × 单位畜禽年排泄量	$DR = \sum_{i=1}^n Q_{a_i} \times M_i$	DR 表示动物粪便中总生物量的干重, $Q_{a_i}$ 是指第 i 种动物的数量, $M_i$ 表示第 i 种动物在饲养周期内产生的废物率

注：谷草比系数(Residue to Product Ratio, RPR)也称之为“产量系数”或“经济系数”<sup>[28]</sup>。化学需氧(Chemical Oxygen Demand, COD)是衡量废水中还原性物质的指标。

其中，不同种类的林木生物质资源可作为能源利用的部位和比例不同，涉及产量系数[28]；不同种类的农作物产生的剩余生物量差异较大，涉及谷草比系数[29]；不同种类的禽畜在整个饲养周期内的粪便排放总量不同，涉及年（按365d计算）排泄物总量[30]。具体见表2、表3、表4所示。

表2 林木生物质能源产量(剩余物)系数和折重

种类	薪柴林	商品林	保护林	灌木林	贫瘠林	林木周边农田
产量系数	1.0	0.2	0.2	0.5	0.5	1.0
折重(kg/hm <sup>2</sup> )	7 500	548	750	3 300	1 200	2000

表3 农作物谷草比系数(RPR)

种类	水稻	小麦	玉米	大豆	薯类	麻类	甜菜	芝麻	向日葵	油菜	花生	烟草
RPR	1.30	0.95	1.25	1.50	0.73	2.10	0.10	2.00	2.00	2.00	2.00	1.60

表4 每年单位畜禽饲养期内粪便排放总量

种类	肉猪	存栏猪	肉牛	奶牛	马	羊	肉禽	蛋禽
$M_i$ /kg	1 050	1 460	8 200	21 900	5 237	632	4.5	55

### 3.1.2 生物质折标能源总量

将上述四种生物质资源实物量乘以相应的折合标准能源系数 ( $\eta_i$ , 简称“折标系数”), 可以分别得到林木、秸秆、城市垃圾和废水、动物粪便四种生物质资源转化为标准能源的总量<sup>[20]</sup>, 计算公式如下所示, 主要生物质资源的折标系数  $\eta_i$  见表 5 可知。

$$E_i = \sum_{i=1}^n Q_i \cdot RPR \cdot \eta_i \quad (E_i \text{ 为第 } i \text{ 种生物质折标能源总量, } Q_i \text{ 为第 } i \text{ 种生物质资源产量, } \eta_i \text{ 为生物质资源折标系数})$$

量,  $Q_i$  为第  $i$  种生物质资源产量,  $\eta_i$  为生物质资源折标系数)。

表 5 不同种类生物质资源折标系数

种类	水稻秆	小麦秆	玉米秆	豆类秆	棉花秆	薯类秆	油料秆	糖料秆	麻类秆
$\eta_i$ (kg/kg)	0.429	0.500	0.529	0.543	0.543	0.486	0.529	0.441	0.500
种类	牛粪	猪粪	马粪	羊粪	禽粪	薪柴	生活垃圾	工业沼	农业沼
$\eta_i$ (kgce/kg)	0.471	0.429	0.529	0.529	0.643	0.571	0.143	0.857	0.714

### 3.1.3 生物质能量密度

文章用能量密度来测度不同国家生物质供热能源系统中供给侧的生物质能源。能量密度[15]是单位面积或人口的生物质能源拥有量, 这是一个用以反映资源丰度的指标。文章的生物质能量密度为单位人口生物质能源, 得到欧盟28个国家人均生物质折标能源总量 (表6)。

表 6 欧盟国家生物质能量密度

国家	简称	能量密度/(kg/人)	国家	简称	能量密度/(kg/人)
奥地利	AT	2 187	爱尔兰	IE	886
比利时	BE	901	意大利	IT	814
保加利亚	BG	2 096	立陶宛	LT	4 123
塞浦路斯	CY	367	卢森堡	LU	843
捷克	CZ	1 570	拉脱维亚	LV	7 525
德国	DE	744	马耳他	MT	95
丹麦	DK	8 596	荷兰	NL	526
爱沙尼亚	EE	7 142	波兰	PL	1 713
希腊	EL	1 684	葡萄牙	PT	1 016
西班牙	ES	1 665	罗马尼亚	RO	1 857
芬兰	FI	15 612	瑞典	SE	8 982
法国	FR	2 016	斯洛文尼亚	SI	2 539
克罗地亚	HR	2 323	斯洛伐克	SK	1 918
匈牙利	HU	1 622	英国	UK	534

### 3.2需求潜力测算

在生物质供热系统中，对生物质能源的需求取决于消费者的总热需求，并且受到生物质质量、生物质燃料价格、供热技术、供热规模等因素的影响[31]。生物质供热需求的观测值为生物质供热消费量和供热能量总消费两个指标（表 7）。

表 7 欧盟国家生物质供热需求潜力测算指标

国家简称	生物质供热消费/(kg/人)	供热能源总消费/(kg/人)	生物质供热占供热能源总消费比重/%	国家简称	生物质供热消费/(kg/人)	供热能源总消费/(kg/人)	生物质供热占供热能源总消费比重/%
AT	465	1 591	29.2	IE	53	942	5.7
BE	124	1 630	7.6	IT	135	921	14.7
BG	153	579	26.4	LT	423	911	46.5
CY	49	521	9.4	LU	132	1 858	7.1
CZ	253	1 358	18.6	LV	644	1 179	54.6
DE	158	1 341	11.8	MT	4	170	2.4
DK	560	1 343	41.7	NL	75	1 580	4.7
EE	558	1 184	47.1	PL	142	1 005	14.1
EL	85	520	16.4	PT	177	535	33.0
ES	90	622	14.4	RO	180	683	26.3
FI	1 331	2 571	51.8	SE	847	1 416	59.8
FR	159	936	17.0	SI	271	899	30.1
HR	280	790	35.4	SK	109	1 129	9.6
HU	201	1 100	18.3	UK	51	834	6.1

### 3.3生物质供热利用综合分区结果

将欧盟国家生物质供热供给与需求潜力测算指标值进行统计，并进行数据标准化处理，遵循最小距离准则，确定初始分类数，在Matlab2019a中运行混合模糊聚类算法，输入分类矩阵，选择最大迭代次数，根据初步分区结果，并且结

合定性指标的判定，对分区结果进行调整，得到28个欧盟国家生物质供热综合利用协调强度、供需关系和隶属度，并依据最大隶属度原则得到分类结果（表8）。

**表8 生物质供热利用类别隶属度及供需关系**

国家简称	协调强度	供需关系	隶属度	国家简称	协调强度	供需关系	隶属度
AT	较高	供大于需	II	IE	低	供小于需	V
BE	低	供小于需	V	IT	中	供小于需	III
BG	较高	供大于需	II	LT	高	供大于需	I
CY	中	供小于需	III	LU	低	供小于需	V
CZ	低	供小于需	IV	LV	高	供大于需	I
DE	中	供小于需	III	MT	低	供小于需	V
DK	高	供大于需	I	NL	低	供小于需	V
EE	高	供大于需	I	PL	低	供小于需	IV
EL	低	供小于需	IV	PT	中	供小于需	III
ES	低	供小于需	IV	RO	较高	供大于需	II
FI	高	供大于需	I	SE	高	供大于需	I
FR	低	供小于需	IV	SI	较高	供大于需	II
HR	较高	供大于需	II	SK	低	供小于需	IV
HU	低	供小于需	IV	UK	低	供小于需	V

#### 4综合分区结果分析

依据上述初步分区结果，并结合现有对欧盟国家生物质供热利用区域划分和定性指标的判定，对分区结果进行局部调整。生物质资源具有可再生性，但并非意味着可以无限制地利用，技术效率、创新水平、生产条件能够影响生物质供热资源供给能力，政策目标、生态环境、气候条件同样影响着生物质供热资源的需求水平。这些影响因素具有地区差异性，共同作用决定着欧盟国家生物质供热综合利用现状。基于上述考虑，结合综合分区结果，进一步分析不同类型的国家生物质供热发展特征，区为重点发展类，包括芬兰、瑞典、丹麦、爱沙尼亚、立陶宛和拉脱维亚。区为资源优先类，包括奥地利、克罗地亚、保加利亚、罗马尼亚和斯洛文尼亚。区为政策导向类，包括德国、意大利、葡萄牙、塞浦路斯。区潜力良好类，包括捷克、匈牙利、希腊、西班牙、波兰、法国、斯洛伐克。区为匮乏迟缓类，包括英国、荷兰、比利时、爱尔兰、卢森堡、马耳他。具体分区方案见表9所示。

**表9 欧盟国家生物质供热利用综合分区及特点分析**

分区	类型	特点	国家
I区	重点发展类	生物质供热发展水平远远领先于欧盟其他国家，资源丰富、技术成熟、政策支持，发展效率最高	芬兰、瑞典、丹麦、爱沙尼亚、立陶宛和拉脱维亚
II区	资源优先类	资源优势，资源量丰富、政策环境良好、现状较好，具有良好的成长空间	奥地利、克罗地亚、保加利亚、罗马尼亚和斯洛文尼亚
III区	政策导向类	政策导向，资源量较少，规模不足，基础薄弱，但依靠政府政策激励，未来将重点发展，前景较好	德国、意大利、葡萄牙、塞浦路斯
IV区	潜力良好类	资源基础良好，生物质供热发展现状一般，缺乏有效的政策支持，未来在欧洲气候目标推动下具有很大发展潜力	捷克、匈牙利、希腊、西班牙、波兰、法国、斯洛伐克
V区	匮乏迟缓类	资源匮乏，政策环境较弱，成长空间处于劣势，发展水平最低	英国、荷兰、比利时、爱尔兰、卢森堡、马耳他

区为重点发展类生物质供热利用区，包括芬兰、瑞典、丹麦、爱沙尼亚、立陶宛和拉脱维亚6个国家，这类国家拥有丰富的生物质资源量，并且生物质供热整体发展利用水平最好。芬兰和瑞典均地处北欧，其化石能源匮乏，是高度工业化、高能耗国家，然而芬兰和瑞典也是欧洲人均林木生物质最多的国家。芬兰和瑞典不仅具有先天资源优势，

同时对林木生物质能源的开发和利用非常重视，生物质能源承担了全国供暖需求的50%以上。从1999年至今，两国政府通过各种能源计划、环境战略以及各种扶持政策，都在大力推进生物质热电联产和区域供暖方面的运用，并取得了一定规模和成效。丹麦可再生能源结构中生物质是风能的三倍，并计划将在2030年弃煤。丹麦依靠本土生产的生物质所产生的人均能源量，大于中国煤炭所产生的人均电力能源量。丹麦在供热用能生物质排名第一，占比35.5%，天然气占18.4%。并且生物质是集中供热和单体建筑供热的主体能源。爱沙尼亚、立陶宛和拉脱维亚三国位于高海拔波罗的海地区，供热是国家最重要的问题之一。三国森林覆盖率较高，生物质资源充足，为减少对俄罗斯天然气进口的依赖，为解决能源供应和安全生产问题，大力发展本国生物质供热，逐渐实现能源转型和社会发展。

区为资源优先类生物质供热利用区，包括奥地利、克罗地亚、保加利亚、罗马尼亚和斯洛文尼亚5个国家，这类国家生物质资源优势较为明显，资源导向致使生物质供热发展现状和前景都较好。奥地利森林覆盖率为44.7%，拥有丰富的森林和水资源，是人均供热消耗生物质能源较多的国家之一，并且拥有世界生物质热电领域领航技术，在国际生物质供热技术交流与合作中发挥重要作用。斯洛文尼亚、克罗地亚和保加利亚森林和水力资源丰富，森林覆盖率分别为49.7%、47%和31%，为生物质供热提供大量木质资源，且发展现状良好。罗马尼亚农业资源丰富，被誉为欧洲粮仓，农业面积占国土面积的61.7%，为生物质供热提供大量的秸秆等农作物剩余物，并且基于垃圾的能源生产保持稳步增长。

区为政策优先类生物质供热利用区，包括德国、法国、意大利、葡萄牙、塞浦路斯5个国家，这类国家缺乏生物质资源优势，但由于政府政策导向，在国家战略规划、政策制定、技术研发和管理机制等方面积极鼓励生物质供热的发展和利用，未来对生物质供热需求较大。德国自然资源匮乏，在原料供应和能源方面很大程度上依赖进口，而生物质能供热领域的市场却一直在蓬勃发展，德国生物能源村是欧洲生物能源成功的一个缩影，这得益于从1999年至今，不间断的联邦和州两级政府各种资助计划的支持。法国政府非常重视对生物质能源的研发，并采取一系列财政支持、税收优惠以及用户补贴等措施对生物质供暖企业和用户侧进行大力扶持。意大利能源自给率一直极低，超过80%能源资源需要进口，但其生物质供热技术优势迅速积累，可再生能源规模逐年扩大。虽然意大利国家级能源战略颁布较晚，但更充分、彻底地尊重了民众意愿。葡萄牙和塞浦路斯非常重视可再生能源发展，政策力度强而持续，不惜花费巨额补贴发展包括生物质在内的可再生能源，强力在其供热领域推行“去煤化”。

区为潜力良好类生物质供热利用区。捷克、匈牙利、希腊、西班牙、波兰、斯洛伐克6个国家，这类国家可再生能源较为丰富，资源基础较好，然而生物质供热发展现状一般，缺乏有效的政策体系和技术标准推动市场和产业的发展，对生物质资源的开发和利用不足，在欧洲气候目标推动下未来具有很大潜力。捷克发展水平仅为欧盟平均水平的三分之一，目前差距较大，但是近五年捷克生物质能源增速较快。西班牙和匈牙利拥有丰富的生物燃料和生物燃气，虽然目前生物质能源在整体能源结构中只占小部分，但其政府制定了替代化石能源的长期规划，具有很大的发展潜力。波兰具有丰富的生物质资源，并且拥有完整的生物质成型燃料产业链，在日益增长的生物质供热市场需求量的激励下，波兰生物质成型燃料产业发展潜力以及生物质供热利用潜力巨大。

区为匮乏迟缓类生物质供热利用区。英国、荷兰、比利时、爱尔兰、卢森堡和马耳他6个国家，这类国家生物质资源匮乏，生物质供热行业发展迟缓，并且国家对生物质能源的发展和利用尚未引起足够重视，未来生物质供热需求较小。荷兰人均资源匮乏，生物质供热行业起步较晚，技术投资较少，发展程度相比北欧国家和波罗的海三国明显低很多，生物质能源还有较大的发展空间，但支撑和保障体系明显不足。英国过去一系列不明智的政府行动严重阻碍了生物质热电联产项目的发展，并通过生物质的偏激而破坏国家整体的能源政策。马耳他、卢森堡、荷兰和英国等国家总终端能源消费的生物质比例均在10%以下，生物质资源利用率很低。

## 5对中国的启示和建议

中国生物质资源蕴藏富足，主要包括农业废弃物、林业废弃物、畜禽粪便、城市生活垃圾、有机废水和废渣等，发展潜力巨大。其中每年农业废弃物资源量约4亿t，林业废弃物资源量约3.5亿t。然而，中国生物质资源量总体上分布不均，地域省际差异较大。中国生物质理论蕴藏量最为丰富的省份为四川、西藏、云南、广西和广东，占全国生物质资源量的四分之一以上，而四川、云南、广西和广东均处于南方，冬季多为电暖，西藏供暖技术落后，发展迟缓，这些供暖需求少或技术相对落后的地区可以借鉴西班牙和葡萄牙等区潜力良好类国家的经验，将大量的生物质资源制成燃料进行生产利用，不仅可以满足当地全年对热水的需求，又培育了农村经济发展新的增长点。生物质成型燃料具有比重大、品质好、经济运输半径大的优势，因此有必要加快成型燃料产业发展，培育跨县市、跨地区燃料物流体系。其次生物质资源较为富足的是黑龙江、山东和河南三个省份，占全国生物质资源总量的20%，其生物质供热发电均处于国内领先地位。山东滨州市阳信县优先打造全国首个清洁供热“无煤县”，积极开展生物质清洁供热试点，“阳信模式”取得积极成效。黑龙江长青集团牡丹江生物质热电联产和河南鹤壁市成型生物质取暖都是具有代表性的生物质供热案例。这些省份在发挥自身优势的同时，亦可以借鉴瑞典、丹麦等区重点发展类国家经验，强化布局规划并大力给予政策支持，推进生物质能源清洁供热，争取国家专项基金，建立完善生物质能源节能、环保、安全、质量管

理体系,以期实现全省绿色能源生产并优先完成能源结构的改革。再次为内蒙古、吉林、湖南、河北,这些地区生物质资源量较为丰富,但整体上发展并不理想,供热多为户用和民用供暖,可以借鉴 区资源优先类欧盟国家,给予先进的技术支持,帮助供热公司适应来自其他技术的竞争,同时,低廉的电价正在挑战区域生物质供热市场的发展。对生物质区域供热系统和技术的更多研究和开发可以支持基础设施的现代化,并将区域生物质供热保持为能源系统的重要组成部分。生物质资源量最少的地区为北京、天津、上海、宁夏和青海,对于雾霾较为严重、生物质资源匮乏、冬季供暖需求较大的地区,更需要给予大力的政策支持和引导。参考德国等 区为政策优先类欧洲国家近年更换生物质炉具的经验,推广节能安全炉具。提倡炉具的供暖功能与炊事功能分开。炉具本身要扩大炉膛,同时尽量避免正压排风或提高正压排风口的封闭性,最大限度减少一氧化碳泄露的可能性。相关部门可以出台技术标准,加强质量监管。“宜气则气、宜电则电、宜热则热”,其中“宜”可以理解为选择合适的热源,采用节能、高效的供暖系统,同时要兼顾成本问题,并且提高对系统能效、对储热水箱应用等认识。

立足于中国国情和可再生能源清洁利用现状,基于对欧盟国家生物质能源供热供需测算以及综合利用分区研究,面对联合国可持续发展目标这一新挑战,进一步提出对中国生物质能源供热发展的启示和相关建议。

(1) 宏观——供热领域能源结构战略的调整。20世纪90年代以来,中国在供热领域的能源消费结构在很大程度上依赖煤炭资源。现如今伴随着国际范围日益严峻的能源危机、气候变化、环境污染等问题,化石能源将逐渐被清洁能源所取代,同时单一能源高度依赖的供热体系也将慢慢被淘汰。 区重点发展类国家如丹麦、芬兰,历史上都在遭遇能源危机之后大力调整能源供应结构,积极开发可再生能源和清洁能源。瑞典的生物质能源比例在欧盟国家排名第一,其中生活垃圾回收率达到百分之九十九以上。中国是高能耗国家,冬季供暖燃烧散煤是雾霾天气重要原因。然而,中国所采取的“煤改气”和“煤改电”等措施较难持续推进。当前,中国可以借鉴北欧等国的供热经验,对国家能源结构和能源战略提出新的调整,学习发达的供热系统和家庭供热技术,强调生物质能源的角色,发展“煤改生物质”。长期以来中国在供热领域存在耗能较高、污染较重、能源利用率较低等问题,从宏观上对能源结构战略的调整,可以减少能源的浪费,逐步实现能源自给自足,有效扫除中国能源战略安全潜在的巨大威胁,大力促进社会经济可持续发展。

(2) 中观——立足国情开发利用生物质供暖热源。欧盟国家大多是立足于自身资源禀赋和能源结构,选取适合本国国情的供暖能源类型。尤其是 区资源优先类国家,资源优势明显,生物质供热产业起步早、发展好。欧盟国家生物质能源消费可以满足欧洲总体供热领域能源需求的13%。中国是农业大国,每年可收集约7t秸秆等农业剩余物,且中国人口众多,年垃圾清运量接近3亿t。中国年均可开发生物质能源可达12亿t标准煤,超过中国全年总能耗的三分之一,潜力巨大。然而目前中国生物质在供暖领域中的应用却不足1%,远低于欧洲发达国家,甚至低于世界平均水平。因此,中国应该立足国情,四川、西藏、云南、广西和广东等地生物质资源最为丰富、供暖需求最少,黑龙江、山东和河南资源丰富并且生物质供热发展良好,北京、天津、上海、宁夏和青海生物质资源匮乏、冬季供暖需求较大,对于不同现状的地区,需根据自身条件,因地制宜对生物质能源进行开发利用,不仅可以解决中国冬季供暖能源短缺、环境污染等问题,还可以为农民增收、增加就业提供更多机会。

(3) 微观——采取积极的生物质能源供热政策。能源工业化发展阶段,是世界第一大能源消费国。然而相较于能源高消费,中国的能源储备并不富足,伴随着能源需求与日俱增,很多地区出现了不同程度的能源紧张,同时能源价格也成为制约中国经济增长的重要因素。因此,发展可再生能源是解决能源短缺、供需失衡的重要途径。通过对欧盟第 类政策优先型国家供热利用情况的分析可知,制定积极的、符合本国国情的能源政策,可以更好地推动可再生能源的开发和利用,改变旧的能源结构,提升国家能源安全。德国目前是欧洲热电联产装机容量最大的国家,然而其自然资源相对贫乏,在石油危机之后为减少对化石能源的依赖,德国先后出台了《节能法》《可再生能源供热法》《近零能耗建筑标准》以及各种能效行动计划等,通过大量的能效措施和扶持政策大力发展可再生能源,并且效果显著。中国可以借鉴德国在供热领域能源转型的成功经验,学习德国实现能效目标的技术路线,完善中国节能法律法规,制定积极的、符合国情的可再生能源供热政策,培养民众的节能意识,用以应对能源危机,确保能源安全。

可再生能源替代传统化石能源是未来发展的必然趋势,欧洲国家根据1.5摄氏度特别报告相继调整更高标准的低碳目标和行动计划。对中国而言,制定2030年可再生能源发展规划确实是一个较大的挑战。如若实现高比例可再生能源目标,可再生能源的资源量和价格应该不是制约其发展的主要因素,关键是如何调整能源结构战略、如何获得灵活性资源、如何进行政策支持,并且如何激发可再生能源需求使其进入市场参与良性、可持续竞争。目前中国在能源转型与发展过程中仍存在许多疑点和难点,供热领域实现可再生能源替代更是困难重重,农村贫困并伴随着供热资源贫乏,大城市规模过大而供热能效管理水平较低,基于热计量的供热市场难以提供精确的供热服务,能源转换技术的落后造成大量的资源浪费和严重的环境污染,煤改电和煤改气在一定程度上陷入困境,等等。

基于此现状,中国发展生物质清洁供热有着极大的可行性和前瞻性,中国以其农业大国属性拥有大量秸秆资源,生物质原料收集、存储及烘干技术较为成熟,同等供热面积和室温前提下生物质取暖成本相较电暖、天然气供暖具有较

大优势，加之欧盟国家在生物质供暖产业发展进程中多年来总结的经验和教训，以及欧盟先进的清洁供暖工艺技术、设备、外部环保条件等，都为中国大力发展生物质供热提供充足的保障，立足中国国情和可再生能源清洁利用现状，生物质能源清洁供热发展可以从宏观、中观和微观三个层面施以重墨。生物质能源供热产业的发展需要政府相关部门系统性、实质性的布局与作为，明确生物质供热的优先地位，因地制宜完善生物质燃料保障体系，推广节能安全炉具加大农村生物炉具升级改造，加强金融支持、税收减免鼓励生物质成型燃料产业发展，创新供热补贴机制。大力发展生物质清洁供暖是响应国家实现能源绿色低碳发展目标的重大举措。有助于国家能源安全保障计划和多元供给策略的有效实施，促进国家智慧能源系统建设、能源科技改革与创新，加快中欧绿色伙伴协作、能源国际合作以及生态环保国际合作，争取在全球碳中和进程中形成了互利多赢的良好局面。

## 参考文献

- [1] International Energy Agency. Market analysis and forecasts from 2019 to 2024 [R]. Paris : International energy agency, 2019.
- [2] European Parliament, European Parliament Resolution of 4 October 2017 on the 2017 UN Climate Change Conference in Bonn [R]. Germany;European parliament ,2019.
- [3] 国家发改委. 关于印发北方地区冬季清洁取暖规划(2017—2021年)的通知 [R]. 2017.
- [4] 国家能源局. 生物质能发展“十三五”规划 [R]. 2016.
- [5] MAIMOULIN T, ARMSTRONG S, VANDAM J, et al. Toward a harmonization of national sustainability requirement sand criteria for solid biomass [J]. Biofuels bioproducts and biorefining, 2017. 13 (2) :405 – 421.
- [6] SCARLAT N, DALLEMAND J F, MONFORTI F, et al. Renewable energy policy framework and bioenergy contribution in the European Union:an overview from national renewable energy action plans and progress reports [J]. Renew sustainable energy, 2015 ( 51 ) : 969 – 985.
- [7] MANJOLA B, RICHARD S. Biomass for energy in the EU–The support framework [J]. Energy policy ,2019 (131) :215 – 228.
- [8] JUMOKE M, OLADEJO, STEPHEN A, et al. In-situ monitoring of the transformation of ash upon heating and the prediction of ash fusion behaviour of coal/biomass blends [J]. Energy, 2020 (199) :2 – 11.
- [9] 孙宁, 王飞, 孙仁华, 等. 国外农作物秸秆主要利用方式与经验借鉴 [J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26 (S1) :469 – 474.
- [10] MICHAEL O, DAVID L, TSCHIRLEY, et al. energy demand substitution from biomass to imported kerosene: evidence from Tanzania [J]. Energy policy, 2019 (130) : 243 – 252.
- [11] PRUIZ W, NIJS D, TARVYDAS, et al. ENSPRESO – an open,

- EU – 28 wide, transparent and coherent database of wind, solar and biomass energy potentials [1]. *Energy strategy reviews*, 2019 (26) : 1 – 12.
- [12] 肖丽娜, 莫笑萍, 许芳燕, 等. 国外生物质能源发展潜力研究进展 [J]. *中国人口·资源与环境*, 2014, 24 (5) : 61 – 64.
- [13] ANDREW W. Balancing growing global bioenergy resource demands-Brazil's biomass potential and the availability of resource for trade [J], *Biomass and bioenergy*, 2017 (105) : 83 – 95.
- [14] BURG V, BOWMAN G, MI M, et al. Analyzing the potential of domestic biomass resources for the energy transition in Switzerland [J]. *Biomass and bioenergy*, 2018 (111) : 60 – 69.
- [15] 李京京, 任东明, 庄幸. 可再生能源资源的系统评价方法及实例 [J]. *自然资源学报*, 2001, 16 (4) : 373 – 380.
- [16] 郭艳, 康鸳鸯, 刘晓丽. 基于遗传模拟退火算法的国土多功能利用综合分区研究 [J]. *资源与产业*, 2015, 17 (5) : 41 – 45.
- [17] 刘玉邦, 梁川. 基于主成分和模糊 C – 均值聚类算法的农业水资源高效利用综合分区 [J]. *水文*, 2011, 31 (5) : 57 – 63.
- [18] NATHANIAL C, ANNA P, NILAY S. Linear estimators of biomass yield maps for improved biomass supply chain optimisation [J]. *Applied energy*, 2019 (253) : 1 – 14.
- [19] MUHAMMAD A J, UMAIR A, ZAHEER A, et al. Valorization of agricultural waste: comparative study with focus on improving the heating value of biomass [J]. *Journal of energy engineering*, 2020, 146 (4) : 93 – 101.
- [20] VANESSA B, GILLIANNE B, MATTHIAS E, et al. Analyzing the potential of domestic biomass resources for the energy transition in Switzerland [J]. *Biomass and bioenergy*, 2018 (111) : 60 – 69.
- [21] SSEARLE C, MALINS. A reassessment of global bioenergy potential in 2050 [J]. *GCB Bioenergy*, 2015 (7) : 328 – 336.
- [22] CALLIOPE P, AUSILIO B, BERIEN E, et al. Biomass supply assessments in Europe: research context and methodologies [J]. *Academic press*, 2017 (15) : 1 – 24.
- [23] PAIANO, ANNARITA, LAGIOIA, et al. Energy potential from residual biomass towards meeting the EU renewable energy and climate targets. [J]. *Energy*, 2016 (91) 161 – 173.
- [24] 卫洪建, 杨晴, 李佳硕, 等. 中国农作物秸秆资源时空分布及其产率变化分析 [J]. *可再生能源*, 2019 (9) : 1265 – 1273.
- [25] 冯雪, 吴国春, 曹玉昆, 等. 生物质能源可利用潜力评价: 以黑龙江省重点国有林区为例 [J]. *中国农业资源与区划*, 2019, 40 (6) : 55 – 62.
- [26] PENG L, WANG D Y. Estimation of annual quantity of total excretion from livestock and poultry in Chongqing Municipality [J]. *Transactions of the CSAE*, 2004, 20 (1) : 288 – 291.
- [27] YUAN Z H, WU C Z, HUANG H, et al. Research and development on biomass energy in China [J]. *Energy technology and policy*, 2002 (1) : 108 – 144.
- [28] BLAS M Y, JAVIER A, OLALLA D Y, et al. Wood biomass potentials for energy in northern Europe: forest or plantations [J]. *Biomass and bioenergy*, 2017 (106) : 95 – 103.

- [29] VANESSA B, GILLIANNE B, MATTHIAS E, et al. Analyzing the potential of domestic biomass resources for the energy transition in Switzerland [J]. Biomass and bioenergy, 2018 (111) :60 – 69.
- [30] ALINE G, OSCAR F, GABRIELA F B, et al. Methane production by co-digestion of poultry manure and lignocellulosic biomass: Kinetic and energy assessment [J]. Bioresource technology, 2020 (300) : 122 – 135.
- [31] ERIK T, MONICA H, OLE L, et al. Projecting demand and supply of forest biomass for heating in Norway [J]. Energy policy , 2011 (39) : 7049 – 7058.

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/180750.html>