

文章编号:0254-0096(2018)04-1045-07

# 西北乡域太阳能-生物质能联合采暖资源可行性分析

刘艳峰, 王敏, 王登甲, 周勇

(西安建筑科技大学环境与市政工程学院, 西安 710055)

**摘要:** 以太阳能资源分布和建筑气候条件将西北划归为7类典型区域,对各区域典型建筑采暖热需求及可接收太阳能总量进行计算,采用统计方法分析户均生物质能总量及可持续供应能力,分析生物质能、采暖热需求量、太阳能集热量之间的总量及匹配对比关系,提出西北乡域太阳能联合生物质能采暖资源可行性优选等级。结果表明,西北一半以上地区生物质能丰富,20%以下地区生物质能较为贫乏;新疆维吾尔自治区、宁夏回族自治区属于可行性I类地区,联合采暖覆盖率分别达到96%、100%,陕西地区属于可行性II~III类地区,联合采暖覆盖率可达到78%,青海、甘肃地区分别为76%、56%,属于III~V类地区。可见西北乡域太阳能与生物质能联合采暖资源可行性较高。

**关键词:** 联合采暖; 西北乡域; 生物质; 资源可行性

**中图分类号:** TK6

**文献标识码:** A

## 0 引言

区别于我国东北、华北地区,西北地区太阳能资源丰富,乡域住宅建筑经过合理的主、被动太阳能结合设计之后,采暖保证率可达60%以上,太阳能采暖优势明显<sup>[1-5]</sup>。但受气候条件等多因素影响,维持系统稳定运行需加设辅助热源联合采暖。生物质作为非商品能源,可再生、污染较低;收获季和采暖季相接,便于生物质作为燃料与太阳能联合采暖,以解决系统供需之间的不匹配问题。西北生物质资源作为补充燃料辅助太阳能采暖,需求量较少,且各区域生物质发展潜力较好<sup>[6-8]</sup>。西北地区地域广阔,不同地点生物质总量分布不均,其体积密度和能量密度低,运输不便,跨区域利用受限。因此,西北乡域太阳能-生物质能联合采暖适宜性存在显著的地区差异。

文献[9~11]对生物质与太阳能联合系统在不同匹配形式下的供热性能、污染物排放、耗电量等方面进行研究,确定优化模型;文献[12]对生物质与太阳能联合系统全年运行情况进行分析,确定生

物质是辅助太阳能供能的适宜选择。联合采暖涉及到太阳能与生物质能的资源可行性、匹配形式、热源的收集与蓄存等一系列问题,其中生物质资源作为可行性先决条件之一,目前尚无系统的研究。

本文对西北地区各地户均生物质能总量、单户采暖热需求量、太阳能集热量进行分析,确定联合采暖的资源条件等级,为西北乡域太阳能-生物质能联合采暖的可行性提供依据。

## 1 西北地区太阳能资源概况

西北地区地域跨度大,除不同太阳能分布和建筑气候条件影响当地生物质产量外,各区域采暖期长短各异,农村住宅建筑形式和围护结构构造形式等也有其地域性特点,室内采暖热需求量差异较大,进而影响单户所需生物质总量。根据太阳能资源分区和建筑气候情况,将西北分为7类地区。

酒泉地区的生土建筑、西宁的庄巢建筑、喀什的阿以旺建筑、乌鲁木齐的平屋顶建筑、榆林的窑洞建筑及西安的窄院建筑<sup>[13]</sup>,是属于不同太阳能资源分区和建筑气候分区的典型建筑,选取这6类典

收稿日期: 2016-01-29

基金项目: 国家自然科学基金(51378411); 陕西省重点创新团队(2014KCT-01)

通信作者: 刘艳峰(1971—), 男, 博士、教授、博士生导师, 主要从事建筑节能与太阳能利用方面的研究。liuyanfeng@xauat.edu.cn

型地区的典型建筑应用太阳能-生物质能联合采暖,并计算单户采暖热需求量、太阳能集热量及生物质需求量。太阳能 I 类寒冷地区范围较少,所以在太阳能资源 I 区仅选择一处典型建筑。图 1 为西北地区太阳能及气候分区。

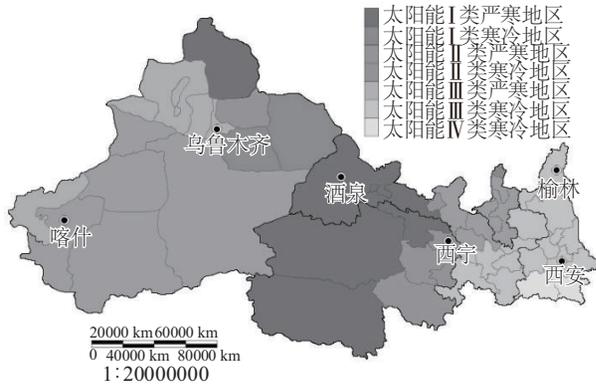


图1 西北地区太阳能及气候分区图

Fig. 1 Distribution map of solar energy and climate

## 2 研究方法

### 2.1 太阳能集热量计算

各地集热器方位角均为正南,针对采暖季,不同地区集热器按最佳倾角安装<sup>[14]</sup>。各地集热器采光面太阳辐照度计算如式(1)所示。

$$J_T = \frac{J_{bT}}{\cos \alpha} + J_{dT} \quad (1)$$

式中,  $J_T$ ——当地集热器采光面上的平均日太阳辐照度,  $\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ;  $J_{bT}$ ——水平面直射辐照度,  $\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ;  $J_{dT}$ ——水平面散射辐照度,  $\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ;  $\alpha$ ——当地纬度, ( $^\circ$ )。

根据采暖期、集热面积及集热器采光面太阳辐照度,计算太阳能总集热量,如式(2)所示。

$$Q_T = J_T \cdot S \cdot A_c \quad (2)$$

式中,  $Q_T$ ——总集热量,  $\text{MJ}$ ;  $S$ ——采暖期,  $\text{d}$ ;  $A_c$ ——集热面积,  $\text{m}^2$ 。

### 2.2 耗热量及生物质需求量计算

为更好地比较各地生物质的丰富程度,分别计算辐射极高年、典型年及辐射极低年采暖期的逐时热负荷,对应不同的生物质需求量。

$$Q' = Q'_1 + Q'_2 + Q'_3 \quad (3)$$

式中,  $Q'$ ——供暖设计的热负荷,  $\text{W}$ ;  $Q'_1$ ——围护

结构基本耗热量,  $\text{W}$ ;  $Q'_2$ ——冷风渗透耗热量,  $\text{W}$ ;  $Q'_3$ ——冷风侵入耗热量,  $\text{W}$ 。

为满足采暖热需求,生物质最小发热量  $Q_{\text{Smin}}$  需满足式(4):

$$Q_{\text{Smin}} = Q' - Q_T \quad (4)$$

### 2.3 生物质资源量计算

西北各地粮食、油料、棉花等作物的年产量按照西北五省区 2015 统计年鉴<sup>[15-19]</sup>给出,秸秆资源量可根据作物产量、谷草比及可利用系数<sup>[20]</sup>之间的转换关系得到,生物质可利用量的理论计算公式为:

$$CR = \sum_{i=1}^n Q_{ci} \cdot r_i \cdot l \quad (5)$$

式中,  $CR$ ——可利用生物质总量,  $\text{万 t}$ ;  $Q_{ci}$ ——第  $i$  类农产品产量,  $\text{万 t}$ ;  $r_i$ ——第  $i$  类农作物的谷草比;  $l$ ——秸秆利用系数,作物的相关系数取值见表 1。

表1 作物种类及相关系数

Table 1 Crop species and correlation coefficient

作物种类	谷草比	秸秆利用系数	折煤系数
小麦	1.1	0.6	0.50
稻谷	1.6	0.6	0.43
玉米	1.2	0.6	0.53
大豆	1.6	0.6	0.54
棉花	3.0	0.6	0.54
油菜籽	1.5	0.6	0.53
花生	0.8	0.6	0.53
薯类	0.5	0.6	0.49

可利用生物质总量的分布随地区而异,乡域地区总户数不同,户均生物质总量差异较大。为方便比较生物质总量是否满足联合采暖需求,需计算各地户均生物质总发热量。根据折煤系数及发热效率,生物质固化燃料总发热量计算公式如式(6)所示。

$$Q_s = \sum_{i=1}^n 4.184 \times q_i \times \varepsilon \times CR_i \quad (6)$$

式中,  $Q_s$ ——年发热量,  $\text{kJ}$ ;  $q_i$ ——标准煤的发热量,  $7000 \text{ kcal/kg}$ ;  $\varepsilon$ ——发热效率;  $CR_i$ ——第  $i$  种生物质总量,  $\text{kg}$ , 共  $n$  种。

### 3 结果与分析

#### 3.1 采暖期太阳能辐射量分布

采暖期内的水平面太阳直射辐射量和总辐射量按照专用气象数据集统计数据给出,分别统计气象集中的辐射极高年、典型年及辐射极低年各地区水平面太阳总辐射量及总散射量。典型建筑采暖期总辐射强度见图 2。由图 2 可知,6 个地区顺次为从太阳能 I 类严寒地区到太阳能 IV 类寒冷地区的典型建筑,总太阳辐射量大致呈

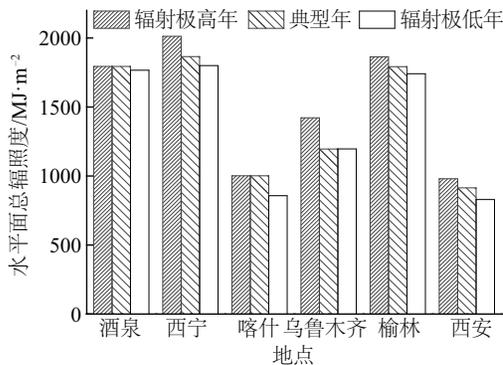


图2 典型建筑采暖期总辐射分布图

Fig. 2 The total radiation distribution of typical buildings in heating period

递减趋势。喀什地区采暖期最短,总辐射量相对较少;榆林地区采暖期较长,且部分地区属于太阳能资源 II 类地区,辐射量相对较多。针对同一地区,辐射极高年的采暖期太阳能资源较丰富,集热量的增加使得所需生物质能总量相对减少;反之,辐射极低年采暖期所需生物质能总量相对较多。

#### 3.2 集热量与生物质能需求量分析

对各典型建筑的主卧、次卧采暖,分别计算各地辐射极高年、典型年和辐射极低年在采暖期内的生物质能需求量。

由表 2 可知,从太阳能 I 类严寒地区到太阳能 IV 类寒冷地区的采暖期太阳能总集热量大体呈递减趋势,生物质能需求量呈递增趋势。其中榆林地区的辐射量较多,选取太阳能保证率较大,总集热量也较多。根据各地不同年限采暖期总辐射量,得到生物质需求量的波动范围,与实际户均生物质总量对比,可更好地判定其丰富程度。表中集热量为单位集热器采光面太阳辐射量,辅助热源需求量为整个采暖季单位采暖面积需求量。

表2 典型建筑单户采暖生物质需求量表

Table 2 Biomass demand of individual household heating

地点	供暖期/d	太阳能保证率/%	热指标/W·m <sup>-2</sup>	集热量/MJ·m <sup>-2</sup>	辅助热源需求量/MJ·m <sup>-2</sup>
酒泉	155	65	54~59	2345~2400	254~278
西宁	162	50	55~63	2261~2522	385~445
喀什	118	45	66~75	1010~1225	370~665
乌鲁木齐	162	40	71~79	1558~2006	596~667
榆林	151	45	38~43	2297~2397	300~359
西安	121	30	30~38	965~1077	184~235

#### 3.3 西北各地生物质总量分析

统计西北五省区 32 个市、8 个州、7 个地区、5 个自治州和 1 个示范区内 2014 年可利用生物质总量。以陕西省为例,共 11 个市及 1 个示范区,农作物主要有小麦、稻谷、玉米、棉花、油菜籽和花生,作物年产量按照《陕西统计年鉴 2015》给出。西北地区生物质资源密度偏低及其气候的变化造成该地

区生物质资源的收集难度较大,若运输距离较远会导致费用增加。因此在分析西北地区生物质资源时应以户均生物质总量作为标准,衡量该地自有生物质资源量。户均生物质总量根据发热量及发热效率得到生物质年发热量,进而与单户采暖生物质需求量对比。户均生物质发热量计算结果如表 3 所示。

表3 2014年陕西省各地可利用生物质总量分布表

Table 3 Distribution of biomass in Shaanxi Province in 2014

地区	作物总产量/万t	可利用生物质总量/万t	农村户数/万户	户均生物质总量/t	发热量/MJ
陕西省	1182.36	866.92	136.91	6.33	55635.86
西安市	187.90	130.80	21.19	6.17	54236.01
铜川市	24.69	17.63	1.14	15.46	135880.91
宝鸡市	151.64	105.05	3.71	28.32	248790.11
咸阳市	200.84	139.58	11.73	11.90	104552.92
渭南市	231.59	166.83	18.28	9.13	80187.92
韩城市	8.18	5.69	2.47	2.30	20240.74
延安市	54.18	40.09	20.39	1.97	17275.47
汉中市	104.09	89.38	21.05	4.25	37307.76
榆林市	78.78	58.42	39.32	1.49	13054.46
安康市	71.90	58.20	5.22	11.15	97963.31
商洛市	51.48	36.86	6.12	6.02	52919.40
杨凌示范区	2.93	2.02	0.50	4.04	35497.06

以西北五省区 2014 年生物质总量及乡域地区户均生物质总量为数据依据,分析其分布规律,如图 3 所示。

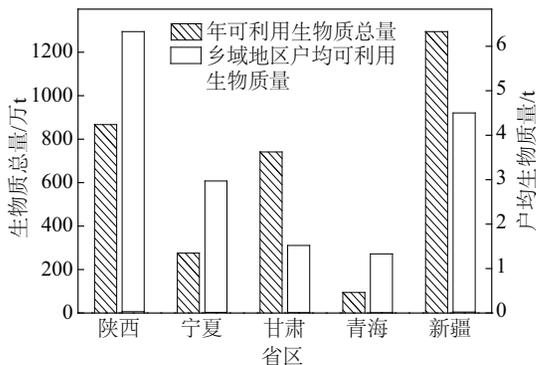


图3 西北五省可利用生物质分布图

Fig. 3 Distribution of biomass in five provinces of Northwest China

生物质产量与太阳辐射量、气候条件、作物面积及种类等因素有关。陕西、宁夏、甘肃、青海、新疆的年末常用耕地面积分别为 288、114、354、56、600 万  $\text{hm}^2$ 。其中陕西大部分地区为湿润气候,适宜多种农作物生长;甘肃为干旱半干旱地区,农作物种植种类、面积受限,产量相对减少;新疆、宁夏、青海大部分地区太阳能资源丰富,利于作物生长。

### 3.4 太阳能与生物质联合采暖可行性分析

将各地区 2014 年户均生物质发热量与各地单

户采暖所需生物质发热量相对比,得到其比值  $X$  及对应的太阳能-生物质能联合采暖资源可行性优选等级,具体分区见表 4。

表4 资源可行性等级分布表

Table 4 Distribution table of resources feasibility level

$X$ 取值	范围	资源可行性等级
$\frac{\text{户均生物质总量}}{\text{辐射极低年单户生物质需求量}}$	$> 1.2$	I
$\frac{\text{户均生物质总量}}{\text{辐射极低年单户生物质需求量}}$	1~1.2	II
$\frac{\text{户均生物质总量}}{\text{辐射极低年单户生物质需求量}}$	0.8~1.0	III
$\frac{\text{户均生物质总量}}{\text{典型年单户生物质需求量}}$	0.5~0.8	IV
$\frac{\text{户均生物质总量}}{\text{辐射极高年单户生物质需求量}}$	$< 0.5$	V

不同的  $X$  值及联合采暖资源可行性等级对应不同的生物质资源分区,最终得到西北五省乡域户均生物质资源等级分布图,见图 4。

由图 4 可知,西北一半以上地区为生物质资源丰富区,其中包括陕西中南部、甘肃西北部、青海东北部、宁夏、新疆大部,年生物质资源量均可满足联

合采暖需求;20%以下的地区为生物质较贫乏区,联合采暖资源条件受限。2014年西北农业生物质总量共计0.5亿t,新疆、宁夏自治区属于可行性I类地区,联合采暖资源覆盖率分别达到96%、100%;陕西地区属于可行性II~III类地区,能满足的联合采暖乡域户数可达78%;青海、甘肃地区分别达到

76%、56%,属于III~V类地区。综合分析可知,西北地区太阳能-生物质能联合采暖资源可行性相对较高。对于太阳能与生物质联合采暖资源覆盖率较低的地区,表5给出具体覆盖率,可确定当地选取生物质与太阳能联合采暖时的最大户数范围,为选取适宜采暖形式提供指导。

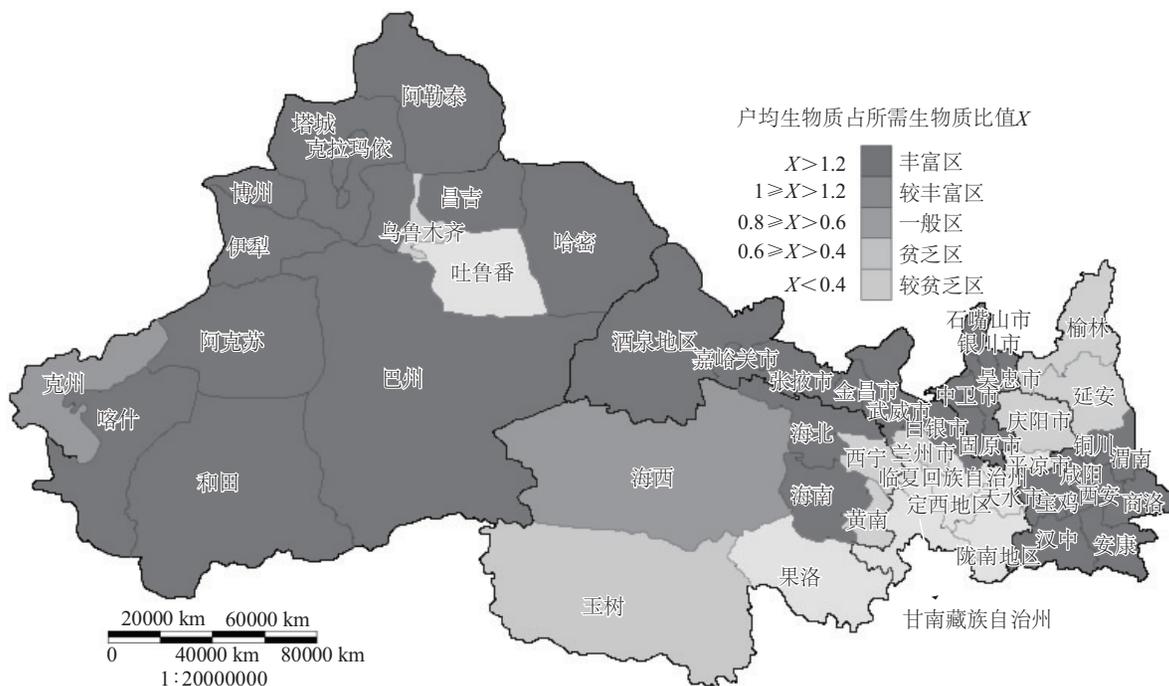


图4 西北乡域户均生物质资源等级分布图

Fig. 4 Resources feasible grade distribution of biomass in the northwest rural areas

适合西北乡域地区且与太阳能匹配适宜的热源形式有燃煤锅炉、燃气锅炉、燃油锅炉、生物质锅炉、电加热和空气源热泵。地区不同,适宜的热源形式不同。对于生物质一般区,生物质资源满足80%以上采暖户数要求,可将其与煤混合燃烧,达到100%采暖资源量;对于可行性IV、V分区内的住宅建筑,生物质资源相对贫乏,应综合考虑能源可得性、经济性、舒适性、技术可行性等指标选取适宜的热源形式。

此外,户均生物质总量是以州、市等为基准计算的总体平均值,并不针对某户具体的供暖技术情况,户间生产方式、作物产量、利用形式等不同,采暖形式差异较大。研究以总量为依据,仅针对先决条件之一的户均资源总量进行分析,为西北乡域太阳能与生物质能联合采暖的可行性提供参考依据。

## 4 结论

针对西北乡域太阳能及生物质能资源条件现状,分析太阳能-生物质能联合采暖的资源可行性,得出以下结论:

1) 生物质作为非商品能源,将其压缩成固化燃料在西北乡域地区发展太阳能-生物质能联合采暖优势明显,但生物质跨区域利用受限,联合采暖资源可行性存在明显的地区差异。

2) 西北乡域一半以上地区为生物质丰富区,20%以下地区生物质较贫乏。新疆维吾尔自治区、宁夏回族自治区属于可行性I类地区,联合采暖资源覆盖率分别达到96%、100%;陕西地区属于可行性II~III类地区,能满足的联合采暖乡域户数可达78%;青海、甘肃地区分别达到76%、56%,属于III~V类地区。西北地区生物质联合太阳能采暖

资源可行性相对较高。

表5 生物质与太阳能联合采暖资源覆盖率

Table 5 Resource coverage of combined solar-biomass heating

地点	可行性等级	生物质分区	户均生物质总量占所需生物质总量比例/%
海西州	Ⅲ	一般	94
克州			80
西宁市	Ⅳ	贫乏	72
兰州市			69
乌鲁木齐市			66
韩城市			62
黄南州			55
庆阳市			54
延安市			53
平凉市			50
榆林市			47
临夏州			46
定西市	Ⅴ	较贫乏	41
天水市			36
陇南市			31
玉树州			29
吐鲁番地区			27
甘南州			12
果洛州		04	

3)对于不能完全使用联合采暖的地区,可得到生物质采暖资源覆盖率,确定联合采暖乡域户数最大值,为选取适宜热源形式提供指导。

#### [参考文献]

- [1] 李元哲,单明,何端练.太阳能主动式采暖实测与分析[J].太阳能学报,2009,30(7):1469—1473.
- [1] Li Yuanzhe, Shan Ming, He Duanlian. Analysis and thinking of active solar heating house[J]. Acta Energetica Solaris Sinica, 2009, 30(7): 1469—1473.
- [2] 马超,刘艳峰.西北农村住宅建筑热工性能及节能策略分析[J].西安:西安建筑科技大学学报:自然科学版,2015,47(3):427—432.
- [2] Ma Chao, Liu Yanfeng. Analysis of thermal performance and energy saving strategy of rural residence building in northwest China[J]. Journal of Xi'an University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2015, 47(3): 427—432.
- [3] 刘艳峰,鱼亚丽,孔丹.西北地区居住建筑太阳能采暖保证率[J].西安建筑科技大学学报:自然科学版,2011,43(2):272—276.
- [3] Liu Yanfeng, Yu Yali, Kong Dan. Solar fraction of residential building in north-west China[J]. Journal of Xi'an University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2011, 43(2): 272—276.
- [4] 周扬,吴文祥,胡莹,等.西北地区太阳能资源空间分布特征及资源潜力评估[J].自然资源学报,2010,25(10):1738—1749.
- [4] Zhou Yang, Wu Wenxiang, Hu Ying, et al. The temporal-spatial distribution and evaluation of potential solar energy resources in Northwest China[J]. Journal of Natural Resources, 2010, 25(10): 1738—1749.
- [4] 罗运俊,何梓年,王长贵.太阳能利用技术[M].北京:化学工业出版社,2005.
- [5] Luo Yunjun, He Zinian, Wang Changgui. Solar energy technology[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005.
- [6] 洪雷.陕西关中地区生物质能利用的环境影响及发展对策研究[D].西安:西北大学,2009.
- [6] Hong Lei. Study on the environment impact and development countermeasures of bioenergy utilization in Guanzhong area of Shaanxi Province[D]. Xi'an: Northwestern University, 2009.
- [7] 李勃.甘肃陇东南地区农作物生物质资源调查分析[J].天津师范学院学报,2007,27(2):58—60.
- [7] Li Bo. Utilization potential of bioenergy resources in Gansu Province[J]. Journal of Tianjin Teachers' College, 2007, 27(2): 58—60.
- [8] 李剑萍.宁夏生物质能的遥感估算[J].安徽农业科学,2011,39(25):15593—15596.
- [8] Li Jianping. Estimation of Ningxia bioenergy using remote sensing[J]. Anhui Agricultural Sciences, 2011, 39(25): 15593—15596.
- [9] Fiedler F, Bales C, Persson T, et al. Comparison of carbon monoxide emissions and electricity consumption of modulating and non-modulating pellet and solar heating systems[J]. Energy Research, 2007, 31(10): 915—930.
- [10] Fiedler F, Nordlander S, Persson T, et al. Thermal performance of combined solar and pellet heating systems[J]. Renewable Energy, 2006, 31(1): 73—88.
- [11] Stolarski M J, Krzyżaniak M, Warmiński K. Energy, economic and environmental assessment of heating a family house with biomass[J]. Energy and Buildings, 2013, 66: 395—404.
- [12] Faninger G. Combined solar-biomass district heating in

- Austria[J]. *Solar Energy*, 2000, 69(6): 425—435.
- [13] 曹亚婷. 西北传统民居适宜性节能技术的科学化分析[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2013.
- [13] Cao Yating. Scientific analysis of suitability of energy-saving technologies in northwest of traditional dwellings [D]. Xi'an: Xi'an University of Science and Technology, 2013.
- [14] 唐润生, 吕恩荣. 集热器最佳倾角的选择[J]. *太阳能学报*, 1988, 9(4): 369—376.
- [14] Tang Runsheng, Lyu Enrong. The optimal tilt angle of collectors [J]. *Acta Energiæ Solaris Sinica*, 1988, 9(4): 369—376.
- [15] 陕西省统计局. 陕西省统计年鉴2015[M]. 北京: 中国统计出版社, 2015.
- [15] The Statistics Bureau of Shaanxi Province. Statistical yearbook of Shaanxi province 2015 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2015.
- [16] 甘肃省统计局. 甘肃省统计年鉴2015[M]. 北京: 中国统计出版社, 2015.
- [16] The Statistics Bureau of Gansu Province. Statistical yearbook of Gansu province 2015 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2015.
- [17] 宁夏回族自治区统计局. 宁夏省统计年鉴2015[M]. 北京: 中国统计出版社, 2015.
- [17] The Statistics Bureau of Ningxia Hui Autonomous Prefecture Region. Statistical yearbook of Ningxia Hui Autonomous Prefecture Region 2015 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2015.
- [18] 青海省统计局. 青海省统计年鉴2015[M]. 北京: 中国统计出版社, 2015.
- [18] The Statistics Bureau of Qinghai Province. Statistical yearbook of Qinghai province 2015 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2015.
- [19] 新疆维吾尔自治区统计局. 新疆省统计年鉴2015[M]. 北京: 中国统计出版社, 2015.
- [19] The Statistics Bureau of Xinjiang Uygur Autonomous Prefecture Region. Statistical yearbook of Xinjiang Uygur Autonomous Prefecture Region 2015 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2015.
- [20] 龚海涛, 张晟义. 新疆能源生物质资源的估算及分布特点[J]. *新疆财经*, 2011, (2): 50—54.
- [20] Gong Haitao, Zhang Shengyi. Cross amount of biomass resources and its spatial distribution in Xinjiang [J], 2011, (2): 50—54.

## FEASIBILITY ANALYSIS OF SOLAR ENERGY AND BIOMASS ENERGY COMBINED HEATING RESOURCES IN NORTHWEST CHINA RURAL AREA

Liu Yanfeng, Wang Min, Wang Dengjia, Zhou Yong

(School of Environment and Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture & Technology, Xi'an 710055, China)

**Abstract:** The Northwest China region is divided into 7 kinds of typical regions according to the solar energy resource distribution and building climate conditions. The heating demand of typical buildings in each region and the total amount of receivable solar energy are calculated during the heating season. The statistical method is used to analyze the total quantity of household average biomass energy and sustainable supply capacity, analyze the total amount and the matching as well as comparing relationship between biomass energy, heat demand quantity for heating and solar heat collecting quantity, and the preferred level for feasibility of solar energy and biomass energy combined heating resources in northwest rural areas is put forward. The results show that biomass energy is abundant in more than half of the Northwest China area, and biomass energy is poor in less than 20% of regions. Xinjiang Uygur Autonomous Region and Ningxia Hui Autonomous Region belong to the feasibility area of class I, the combined heating coverage rate reach 96% and 100%, respectively; Shaanxi Province belongs to the feasibility region of class II - III, the combined heating coverage rate reaches 78%; Qinghai and Gansu Provinces reach 76% and 56%, respectively, belong to III - V regions. It can be seen that solar energy and biomass energy combined heating in rural areas of northwest China has higher feasibility.

**Keywords:** combined heating; rural areas of Northwest China; biomass; resource feasibility