

doi:10.11835/j.issn.1674-4764.2015.04.019



西北农村太阳能集中采暖集热器安装场地分析

郭怀云, 刘艳峰, 李洋, 李涛

(西安建筑科技大学 环境与市政工程学院 西安 710055)

摘要:对西北农村住宅采暖面积、村庄规模及村内住宅建筑密度等问卷调查,分析了农村发展太阳能集中采暖主要限制因素,研究了太阳能集中采暖模式在西北农村的适应性。结果表明,西北农村采用太阳能集中采暖需满足下列条件:集热器安装场地条件,西安农村平均每户需提供集热场地面积为 $30\sim 40\text{ m}^2$,兰州、银川农村为 $40\sim 50\text{ m}^2$,乌鲁木齐农村为 $45\sim 60\text{ m}^2$,西宁、格尔木农村为 $20\sim 30\text{ m}^2$;农村住宅容积率条件,西安、西宁、格尔木地区农村最低需满足 $0.38\sim 0.41$,兰州、银川、乌鲁木齐地区为 $0.27\sim 0.31$ 。对比西北农村太阳能集中采暖条件现状及上述限制性条件分析结果得出,西安、兰州地区超过80%的村庄不能提供足够的集中集热场地;西宁、格尔木地区满足住宅建筑容积率条件的村庄不足30%。

关键词:农村地区;太阳能集中采暖;问卷调查;集热场地;建筑密度

中图分类号:TU832.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-4764(2015)04-0142-07

Analysis of the northwest rural central solar heating adaptability

Guo Huaiyun, Liu Yanfeng, Li Yang, Li Tao

(Environmental and Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, P. R. China)

Abstract: A questionnaire investigation was carried out on the residential heating area of northwest rural, village scales and building density. The main limiting factors of the development and the adaptabilities of concentrated solar heating in rural were analyzed. The results showed that the following factors requirements should be satisfied before concentrated solar heating was applied. Firstly, the average area required for collector installation per household was $30\sim 40\text{ m}^2$ in Xi'an, $40\sim 50\text{ m}^2$ in Lanzhou, Yinchuan, $45\sim 60\text{ m}^2$ in Urumqi, and $20\sim 30\text{ m}^2$ in Xining and Golmud, respectively. Secondly, the minimum building volume rate required was $0.38\sim 0.41$ in Xi'an, Xining and Golmud rural village, $0.27\sim 0.31$ in Lanzhou, Yinchuan, and Urumqi, respectively. However, the questionnaire investigation of current situation in northwest rural showed that more than 80% of the villages in Xi'an and Lanzhou failed to provide enough space for concentrated heating. Less than 30% of the village had building volume rate that met the requirement. of conditions.

Key words: rural areas; concentrated solar heating; questionnaire survey; collector area; building density

收稿日期:2015-04-04

基金项目:国家自然科学基金(51378411, 51408462)

作者简介:郭怀云(1989-),男,主要从事农村太阳能采暖技术研究, (E-mail) guohuaiyun@163.com。

刘艳峰(通信作者),男,教授,博士生导师, (E-mail) liuyanfeng@xauat.edu.cn。

Received:2015-04-04

Foundation item: National Natural Science Foundation of China(No. 51378411, 51408462)

Author brief: Guo Huaiyun (1989-), main research interest: solar energy heating technology in countryside, (E-mail) guohuaiyun@163.com.

Liu Yanfeng (corresponding author), professor, doctoral supervisor, (E-mail) liuyanfeng@xauat.edu.cn.

随着西北农村社会经济的发展,农户对住宅冬季采暖需求不断提高,西北地区太阳能资源丰富,发展农村太阳能采暖可有效满足冬季采暖要求^[1-6]。如今太阳能采暖已在诸多农村得到实施,北京市平谷区的将军关村、挂甲峪村及河北省迁安市马兰庄的新农村住宅等都使用了太阳能采暖技术^[7-8];英、美等国也先后建成了伯明翰郊区的太阳能村及托马森太阳房、洛夫太阳房等太阳能采暖示范工程^[9-13]。农村太阳能采暖工程按采暖规模划分主要分为分户采暖模式和集中采暖模式^[14]。太阳能分户采暖模式在农村地区的应用较为普遍,该模式操作简单运行方便,但供暖稳定性差,且对多层住宅无法有效供暖^[15]。随着农村新建住宅层数的增加、住宅建筑密度的聚集,发展农村太阳能集中采暖,不仅提高了农村太阳能采暖的经济性,也解决了农村多层住宅太阳能采暖的难题^[16-18]。

目前,关于农村太阳能分户采暖模式的相关技术研究日趋成熟,而农村太阳能集中采暖模式的研究却相对较少。笔者以西北农村为研究对象,通过对西北农村地区太阳能集中采暖条件进行问卷调查,掌握西北农村太阳能集中采暖条件现状,在分析农村太阳能集中采暖模式可行性条件的基础上,研究太阳能集中采暖模式在西北农村的适应性。

1 西北农村太阳能集中采暖条件调查

1.1 调查概况

为掌握西北农村住宅采暖面积、村庄规模及村内住宅建筑密度等基本情况,对西安、兰州、银川、西宁、格尔木、乌鲁木齐6个地区的农村进行问卷调查。调查以随机抽样的方式向各地区随机选取数10个村庄,每村发放问卷调查表1~2份,其中西安周边随机选取村庄75个,兰州周边选取村庄78个,银川周边选取村庄32个,西宁周边选取村庄32个,格尔木周边选取村庄20个,乌鲁木齐周边选取村庄45个。共发放问卷调查表450份,收回有效问卷396份,有效回收率88%。

1.2 调查结果与分析

西北农村住宅,一般对卧室、厅堂等居民经常使用的区域进行供暖,由于各户家庭住宅条件不同,住宅采暖面积具有一定的差异性。如图1可知,西北农村每户住宅建筑采暖面积为80~100 m²的比例为70%,而超过120 m²及少于60 m²的采暖住宅低于10%。

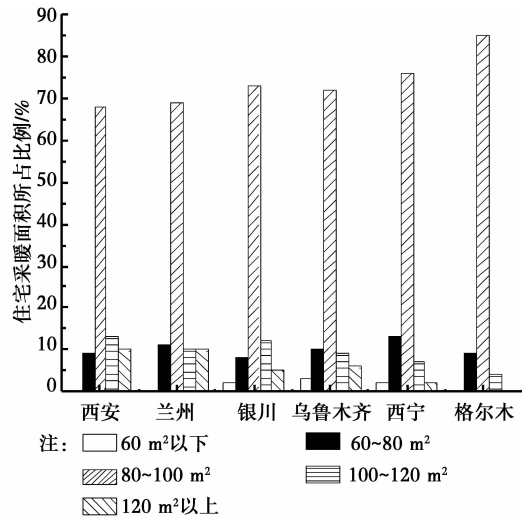


图1 西北农村住宅采暖面积调查结果

Fig. 1 The survey results of the residential heating area in northwest rural

西北地区面积广阔,受文化及经济发展的影响,各地村庄规模差距较大,以“自然村”为单位村庄进行问卷调查。由图2得出西安、兰州、银川农村地区的单位村庄居民户数在150~200户的比例较高,超过了50%,乌鲁木齐、西宁、格尔木约有60%的村庄居民户数在100~150户。

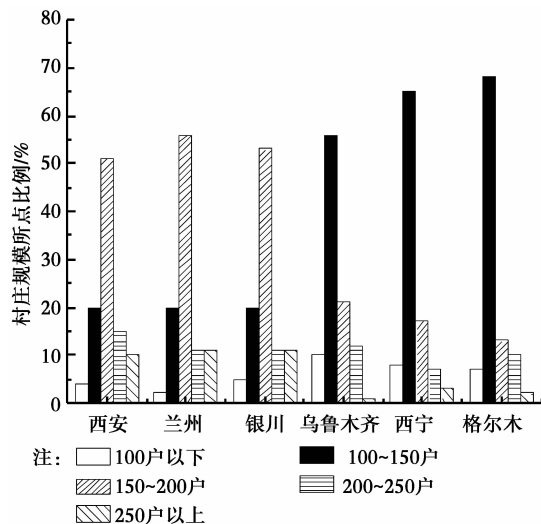


图2 西北典型地区村庄规模调查

Fig. 2 Scale survey of typical village in northwest

西北农村村庄周边大都存在许多或大或小的闲置荒废土地,同时,随着新建建筑的增加、旧有宅基地的累积及荒废,这样的闲置土地越来越多。这些土地一般荒废、集中且周围无遮阳,比较适合作为集热器的集中集热场地。由图3调查结果可知,由于各地农村环境条件不同,不同地区农村的闲置土地

面积相差较大,其中西宁、格尔木、乌鲁木齐地区农村村内闲置土地面积明显高于西安、兰州周边农村。

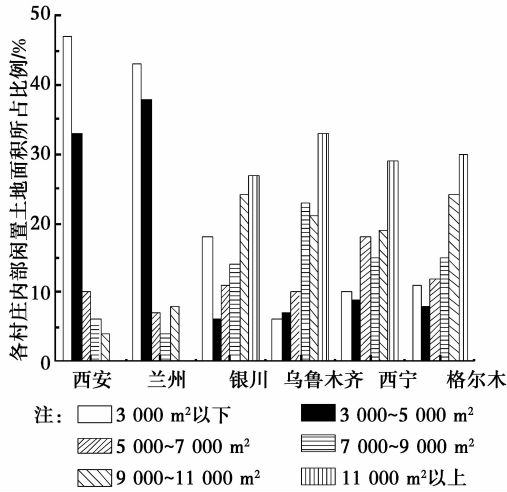


Fig. 3 Idle land area investigation of typical rural in northwest

对比图 2、图 3 可知,有些地区农村住宅户数较少,但村内闲置土地面积较大;而有些地区农村住宅户数较大,可村内闲置土地面积也较多。考虑到集中集热场地面积主要与村庄规模有关,而调查得出的不同地区闲置土地面积大小不能反映该地是否提供所需的集热器安装场地面积,因此,对当地的村庄规模及村内的闲置土地进行了综合统计,得出了各地区农村平均每户拥有的集中集热安装场地面积调查结果。

由图 4 可知,西安、兰州大部分村庄可提供的每户集热场地面积不足 40 m²,而乌鲁木齐、西宁、格尔木大部分村庄可提供的每户集热场地面积超过

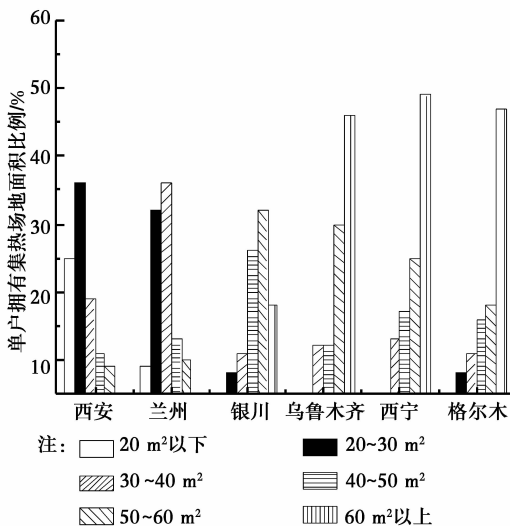


Fig. 4 Proportion of single-family with set hot area in village

50 m² 的比例超过 65%。

农村住宅建筑密度是指单位宅基地面积下所具有的居民户数。表 1 为西北各典型地区农村住宅建筑密度调查,调查以每 10 000 m² 宅基地面积所具有的居民户数为对象,其中 10 000 m² 宅基地面积的选取以村内住宅分布较为密集的地带为中心,选择住宅分布较为均匀的区域。

表 1 各典型地区农村住宅建筑密度调查结果

Table 1 the survey results of rural residential

building density in each typical area %

地区	少于 10 户	10~20 户	20~30 户	30~40 户	40 户以上
西安	0	9	23	36	32
兰州	3	11	25	39	22
银川	6	20	23	36	15
乌鲁木齐	8	15	26	35	16
西宁	15	36	21	17	11
格尔木	10	41	31	8	10

由表 1 调查结果得出,西安、兰州周边农村居民住宅建筑密度显著高于西宁、格尔木地区,其中西安地区接近 60% 的村庄住宅建筑密度在 30 户/(万 m²) 以上,格尔木地区超过 55% 的村庄住宅建筑密度在 20 户/(万 m²) 以下。

2 西北农村太阳能集中采暖可行性条件分析

影响农村太阳能集中采暖可行性的主要因素包括农村住宅采暖负荷条件、集热器集中安装场地、采暖建筑容积率要求等。

2.1 西北农村住宅太阳能集中采暖负荷条件分析

农村住宅采暖热负荷是设计太阳能集中采暖系统及设备选型的重要依据,同时,农村住宅围护结构良好的热工性能是确保太阳能集中采暖可在农村使用的必要前提。如果住宅建筑本身保温性能不高,住宅单位面积采暖负荷较大,将会使采暖系统设计容量增加,这不仅造成了资源的浪费,也大幅降低太阳能采暖系统应用的经济性。

由于农村住宅建筑有着与城市建筑不同的结构形式,因而现存的一些节能标准规定的建筑围护结构热工参数对农村住宅而言并不适用。农村住宅建筑热工参数主要受到当地室外气候条件的影响,西北气候分区主要包括严寒地区与寒冷地区,不同气

候分区的住宅建筑热工参数具有明显差异,笔者参考文献[19]提供的农村节能建筑围护结构热工参数限值;由于农村居民工作生活相对自由,在家所穿衣物较多,因此,农村室内计算温度应以 14~16 ℃考

虑,选取 15 ℃;住宅采暖热负荷的计算参照文献[20]中 3.3.2 的规定。西北各地农村在良好的建筑围护结构条件下,单位面积住宅建筑耗热量指标计算结果见表 2。

表 2 西北农村节能建筑围护结构传热系数限值及单位建筑面积耗热量指标

Table 2 Limit of heat transfer coefficient of palisade structure for the northwest rural energy conservation building and heat consumption index of unit building area

气候分区	典型地区	农村节能建筑围护结构传热系数限制/(W·m ⁻² ·K ⁻¹)				室内空气计算温度/℃	单位面积住宅建筑耗热量 Q _H /(W·m ⁻²)
		外墙	外窗	外门	屋面		
寒冷地区	西安	0.85	4.7	2.5	0.6	15	51.2
寒冷地区	兰州	0.85	4.7	2.5	0.6	15	64.9
寒冷地区	银川	0.85	4.7	2.5	0.6	15	69.2
严寒地区	乌鲁木齐	0.5	2.5	2.5	0.3	15	56.1
严寒地区	西宁	0.5	2.5	2.5	0.3	15	50.9
严寒地区	格尔木	0.5	2.5	2.5	0.3	15	53.1

注:采暖末端选用地板辐射采暖,可不考虑地面对供暖热负荷的影响。

由表 2 可知,西北农村住宅建筑在良好的建筑围护结构条件下,单位面积建筑耗热量指标可降至 50~70 W/m²,这一指标与城市节能住宅相比仍然较高,但与传统农村住宅相比,采暖负荷显著降低很多,已满足农村太阳能采暖应用要求。

2.2 西北农村太阳能集中采暖集热场地条件

太阳能集中采暖采用集中集热,能否提供足够的集热器安装场地是判定集中采暖模式能否在该地应用的主要因素之一。太阳能集中采暖集热器安装场地面积的大小主要由住宅建筑耗热量指标及太阳能采暖系统保证率决定,西北各地农村住宅建筑耗热量指标采用表 2 的计算结果,而太阳能保证率的最低限值主要与当地太阳能资源有关;由于西北地

区太阳能资源分布不均,因此,各地太阳能采暖保证率最低限值具有一定的差异性,笔者主要参考文献[21]确定不同地区太阳能保证率最低限值。

太阳能采暖系统集热器面积的计算参考文献[20]中 3.4.3 的规定。西北农村住宅单户采暖面积假定为 60、80、100、120 m² 的条件下,各地集中采暖中平均每户所需的集热器安装场地面积指标如表 3;其中表中 J_T为当地纬度倾角平面 12 月份的月平均日辐照量,MJ/(m²·d);Q_H为单位面积建筑物耗热量,W/m²;f为太阳能保证率;θ为换热因子;η_{cd}为基于总面积的集热器平均集热效率;η_l为管路及蓄热装置热损失率;A_{IN}为单户采暖面积所需的集热器面积,m²。

表 3 西北农村太阳能集中采暖平均每户所需集热器安装场地面积指标

Table 3 the average collector installation site index required for the northwest rural solar central heating

典型地区	Q _H /(W·m ⁻²)	J _T /(MJ·(m ² ·d) ⁻¹)	f/%	θ	η _{cd} /%	η _l /%	A _{IN} /m ²	采暖面积/m ²			
								60	80	100	120
西安	51.2	10.2	30	1.015	40	15	0.407	24.4	32.6	40.7	48.8
兰州	64.9	10.7	30	1.015	40	15	0.491	29.5	39.3	49.1	58.9
银川	69.2	15.94	40	1.015	40	15	0.464	27.8	37.1	46.4	55.7
乌鲁木齐	56.1	7.69	30	1.015	40	15	0.591	35.5	47.3	59.1	70.9
西宁	50.9	18.83	40	1.015	40	15	0.275	16.5	22.0	27.5	33.0
格尔木	53.1	20.91	50	1.015	40	15	0.323	19.4	25.8	32.3	38.8

由图 1 西北农村住宅采暖面积调查结果可以看出,西北农村超过 70%的住宅建筑所需采暖面积在

80~100 m²,由表 3 可知,西安农村采用集中采暖模式平均每户需满足集热场地面积为 30~40 m²,兰

州、银川农村为 40~50 m², 乌鲁木齐农村为 45~60 m², 西宁、格尔木农村为 20~30 m²。

2.3 西北农村太阳能集中采暖建筑容积率条件

农村住宅采暖建筑容积率是指农村总采暖面积与总宅基地面积的比值。采暖建筑容积率是影响农村太阳能集中采暖室外管网热输送的主要因素, 农村采暖住宅分布过于分散会导致供暖管道过长, 不但加大了管道的热损失, 也存在很多的“无效冷水”, 使远处住宅采暖时, 不能达到设计的采暖温度。因此, 发展农村太阳能集中采暖, 住宅采暖建筑容积率需有一个限制性指标。

图 5 为农村太阳能集中采暖室外管网简图, 以住宅 1~4 为分析对象。为使 4 个住宅采暖外网总长度最大, 则要求相邻住宅之间距离相等, 即图 5 中住宅 1 与住宅 2, 住宅 1 与住宅 3 距离相等, 此时管道热损失最大, 采暖住宅容积率也最低。因此, 根据住宅总采暖量、管网热损失率及采暖住宅容积率之间的关系, 可得出室外管网热损失率与采暖建筑容积率之间的变化规律, 具体结果如图 5。

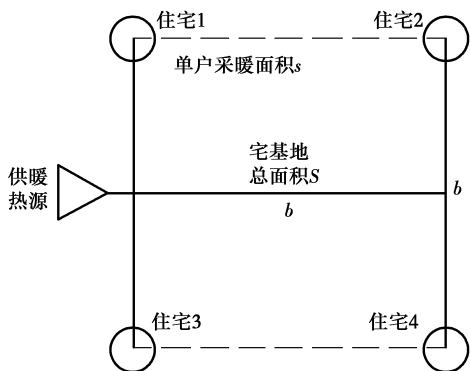


图 5 农村太阳能集中采暖外网简图
Fig 5 Simple outer net diagram of rural solar central heating

由图 6、图 7 可知, 集中采暖系统室外管网热损失随住宅采暖建筑容积率的增加而减少。根据文献 [22] 的规定, 室外供热管网热输送效率不应低于 90%, 即室外管网热损失率不能高于 10%。当室外管网热损失率为 10% 时, 西安、西宁、格尔木地区农村住宅采暖建筑容积率约为 0.33~0.38, 兰州、银川、乌鲁木齐地区为 0.20~0.25。

3 西北农村太阳能集中采暖适应性分析

太阳能集中采暖模式在农村地区使用的主要限制性条件为集热器集中安装场地及住宅采暖建筑容

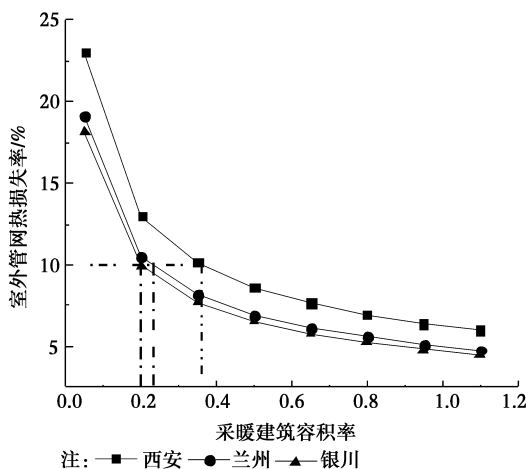


图 6 西安、兰州等地农村采暖建筑容积率分析
Fig. 6 The rural heating building volume rate analysis in places such as Xi'an, Lanzhou et al

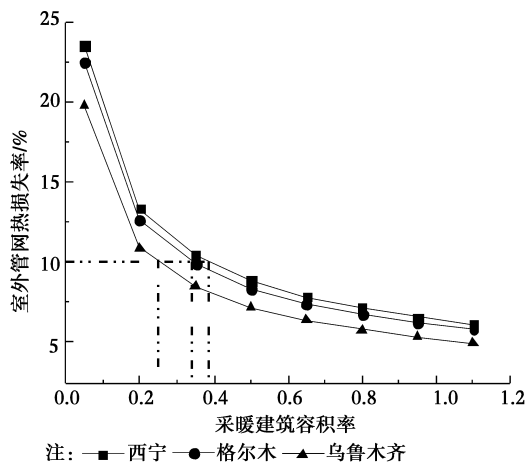


图 7 西宁、格尔木等地农村采暖建筑容积率分析
Fig. 7 The rural heating building volume rate analysis in places such as Xining, Golmud et al

积率。基于 2.2、2.3 节中这些限制性条件的计算分析结果, 并结合西北农村太阳能集中采暖条件调查结果对比分析, 可得出西北各典型地区农村太阳能集中采暖模式的适应性。

由于住宅采暖建筑容积率是农村单户采暖面积与总宅基地面积的比值, 无法直接调查得出, 以单户住宅采暖面积为 100 m², 结合典型地区住宅采暖建筑容积率指标, 可计算得出每 10 000 m² 宅基地面积所具有的居民户数, 该指标称为居民户数指标。西安、西宁、格尔木地区农村住宅采暖建筑容积率为 0.33~0.38, 兰州、银川、乌鲁木齐地区农村住宅采暖建筑容积率为 0.20~0.25。将其转化为居民户数指标, 西安、西宁、格尔木地区每 10 000 m² 宅基

地面积所具有的居民户数为33~38户,兰州、银川、乌鲁木齐为20~25户。

上述计算得出的居民户数指标与表1各典型地区农村住宅建筑密度调查结果进行比较,可得出典型地区满足居民户数指标要求的村庄比例。表3为西北各典型地区农村集中采暖集热器面积分析结果,与图3各地村内单户拥有集热场地面积统计结果相比较,得出西北典型地区农村能够提供太阳能集中采暖集热安装场地要求的村庄比例。相关数据对比结果如表4。

表4 西北地区农村太阳能集中采暖模式适应性

Table 4 The adaptability of rural solar central heating model in northwest

典型地区	集热器安装场地条件		农村采暖建筑容积率条件		
	平均每户住宅所需集热器安装场地指标/m ²	满足比例	采暖建筑容积率指标	1万m ² 宅基地具有居民户数/户	满足比例
西安	40.7	<20%	0.33~0.38	33~38	32%~68%
兰州	49.1	<20%	0.33~0.38	33~38	32%~68%
银川	46.9	50%~75%	0.20~0.25	20~25	50%~80%
乌鲁木齐	65.8	50%~75%	0.20~0.25	20~25	50%~80%
西宁	29.2	>80%	0.33~0.38	33~38	<30%
格尔木	34.3	>80%	0.33~0.38	33~38	<30%

由表4可得,以集热器安装场地条件分析,西安、兰州地区农村可提供足够集中集热安装场地面积的村庄比例不足20%,银川、乌鲁木齐地区农村满足要求的村庄比例在50%~75%,而西宁、格尔木地区有超过80%的农村可提供足够的集中集热场地。以农村采暖建筑容积率条件分析,兰州、银川、乌鲁木齐农村居民住宅建筑密度满足要求的农村比例超过50%,而西宁、格尔木周边农村住宅建筑分布较为分散,满足要求的农村比例不足30%。

4 结论

1)农村住宅采用太阳能采暖,住宅围护结构具有良好的保温性能。西北农村住宅在保温性能良好的条件下,单位面积建筑耗热量指标可降至50~70 W/m²,相比传统农村住宅,采暖负荷显著降低,满足太阳能采暖应用要求。

2)西北农村太阳能集中采暖可行性的关键影响因素为集热器安装场地条件及采暖建筑容积率条件。其中,西安农村平均每户需提供集热场地面积为30~40 m²,兰州、银川农村为40~50 m²,乌鲁木齐农村为45~60 m²,西宁、格尔木农村为20~30 m²;西安、西宁、格尔木农村采暖建筑容积率最低限值需满足0.38~0.41,兰州、银川、乌鲁木齐农村为0.27~0.31。

3)对比各典型地区太阳能集中采暖可行条件及当地太阳能采暖条件问卷调查结果得出:西安、兰州地区超过80%的村庄不能提供足够的集中集热场地,西宁、格尔木地区满足住宅建筑容积率条件的村庄不足30%。

参考文献:

- [1] Huang Q L, Li J F, Gao H. Study of the development road map of China's renewable energy [J]. Engineering Sciences, 2009(2): 5-12.
- [2] Zheng R C. Current situation and development of solar heating technology in China [J]. Engineering Sciences, 2009(2): 86-90.
- [3] Jin J J, Tang Z H, Gao L F, et al. Feasibility analysis on the integrated application of solar energy, biogas, coal-fired boiler and radiant floor heating for rural residence [J]. Journal of Landscape Research, 2013, 5(4): 12-14.
- [4] Tang Q, Xuan W. Application of renewable energies in the construction of new rural residences [J]. Journal of Landscape Research, 2012, 4(1): 42-43.
- [5] 王磊,冯雅,曹友传,等. 西藏地区太阳能采暖建筑热工性能优化研究[J]. 土木建筑与环境工程, 2013, 35(2): 86-91.
Wang L, Feng Y, Cao Y C, et al. Thermal performance optimization of solar heating building envelope in Tibet of China [J]. Journal of Civil, Architectural and Environmental Engineering, 2013, 32(2): 86-91. (in Chinese)
- [6] 王登甲,刘艳峰,刘加平,等. 西北村镇建筑热工及冬季室内热环境分析[J]. 工业建筑, 2010, 40(Sup1): 24-27.
Wang D J, Liu Y F, Liu J P, et al. Analysis of thermal performance and indoor thermal environment in winter of rural buildings in north west of China [J]. Industrial Construction, 2010, 40(Sup1): 24-27. (in Chinese)
- [7] 王涛. 太阳能供暖系统在新农村建设中的应用[J]. 应用能源技术, 2015(2): 46-49.
Wang T. Application of solar heating system in new

- rural construction [J]. Applied Energy Technology, 2015(2): 46-49. (in Chinese)
- [8] 郑瑞澄, 韩爱兴. 我国太阳能供热采暖技术现状与发展 [J]. 建设科技, 2013(1): 12-16.
Zheng R C, Han A X. The present situation and development of solar heating technology in China [J]. Construction Science and Technology, 2013(1): 12-16. (in Chinese)
- [9] 闫云飞, 张智恩, 张力, 等. 太阳能利用技术及其应用 [J]. 太阳能学报, 2012, 33(Sup1): 47-54.
Yan Y F, Zhang Z E, Zhang L, et al. Application and utilization technology of solar energy [J]. Acta Energetica Sinica, 2012, 33(Sup1): 47-54. (in Chinese)
- [10] Henden L, Rekstad J, Meir M. Thermal performance of combined solar systems with different collector efficiencies [J]. Solar Energy, 2007, 72(3): 299-305.
- [11] Olivier J R, Harlnas T M, Esterhuysen D J. Technical and economic evaluation of the utilization of solar energy at South Africa's SANAE IV base in Antarctica [J]. Science Direct, 2008, 33: 1073-1084.
- [12] Carboni C, Montanari R. Solar thermal systems: Advantages in domestic integration [J]. Renewable Energy, 2008, 33: 1364-373.
- [13] Hassana M M, Beliveau Y. Modeling of an integrated solar system [J]. Building and Environment, 2008, 43: 804-810.
- [14] 郑瑞澄, 路宾, 李忠, 等. 太阳能供热采暖工程应用技术手册 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
Zheng R C, Lu B, Li Z, et al. Technical handbook for solar heating [M]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2012. (in Chinese)
- [15] 高新宇, 范伯元, 张红光. 太阳能采暖系统在新农村建设中的应用研究 [J]. 太阳能学报, 2009, 30(12): 1653-1657.
Gao X Y, Fan B Y, Zhang H G. Study on in application of solar heating system new countryside construction [J]. Acta Energetica Sinica, 2009, 30(12): 1653-1657. (in Chinese)
- [16] Eriksson O, Finnveden G, Ekvall T, et al. Life cycle assessment of fuels for district heating: A comparison of waste incineration, biomass and natural gas combustion [J]. Energy Policy, 2007, 35: 1346-1362.
- [17] Chung M, Park J U, Yoon H K. Simulation of a central solar heating system with seasonal storage in Korea [J]. Solar Energy, 1998, 64: 163-178.
- [18] Mohsen M S, Akash B A. Evaluation of domestic solar water heating system in Jordan using analytic hierarchy process [J]. Energy Conversion and Management, 1997, 38(18): 1815-1822.
- [19] 张思思, 董重成, 王陆廷. 我国村镇住宅采暖热负荷指标计算分析 [J]. 低温建筑技术, 2009(11): 97-99.
Zhang S S, Dong C C, Wang L T. Our country village residential heating heat load index calculation and analysis [J]. Low Temperature Architecture Technology, 2009(11): 97-99. (in Chinese)
- [20] GB 50495—2009 太阳能供热采暖工程技术规范 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.
GB 50495—2009 Technical code for solar heating system [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2009. (in Chinese)
- [21] 张昕宇, 由世俊, 徐伟, 等. 太阳能建筑应用系统效果评价体系研究 [J]. 建筑科学, 2013, 29(2): 21-28.
Zhang X Y, You S J, Xu W, et al. Research on evaluation system of solar energy application [J]. Building Science, 2013, 29(2): 21-28. (in Chinese)
- [22] GB/T 50627—2010 城镇供热系统评价标准 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.
GB/T 50627—2010 Evaluation standard for district heating system [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2010. (in Chinese)

(编辑 胡英奎)