

# 太阳能地板辐射采暖系统的应用研究

贺立三, 刘振波, 高林朝, 高艳军 (河南省科学院能源研究所有限公司, 河南郑州 450008)

**摘要** 根据太阳能地板辐射采暖系统原理, 从建筑采暖所需热负荷出发, 计算每天单位采暖面积所需要的水量, 依据气象部门提供的郑州地区的数据资料, 通过换热计算, 得出单位建筑面积需要的太阳能集热器的面积, 实验表明, 在郑州地区采用太阳能地板辐射采暖是可行的。

**关键词** 太阳能集热器; 地板辐射采暖; 热负荷; 太阳能辐射

中图分类号 S214.3 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2008)15-06506-02

## Research on the Application of Solar Radiant Floor Heating System

HE Li-san et al (Energy Research Institute Co., Ltd of Henan Academy of Sciences, Zhengzhou, Henan 450008)

**Abstract** Based on the principle of solar radiant floor heating and from the building heating requirements of heat load, the daily heating units required by the volume of water was calculated. According to the meteorological departments in Zhengzhou, the data on the unit building area for solar collector area was calculated. And the experiments showed that in Zhengzhou region the application of solar radiant floor heating was feasible.

**Key words** Solar collector; Radiant floor heating; Thermal load; Solar radiation

散热器采暖是我国传统的采暖形式, 随着社会的不断进步, 人民生活水平的不断提高, 新材料、新技术的日益推广, 原来传统的采暖形式弊端日渐突出, 如热舒适性差、能耗大、耗钢材多、并占用一定的建筑空间等, 所以用散热器采暖不够理想, 而低温热水地板辐射采暖可以克服散热器采暖的不足之处。

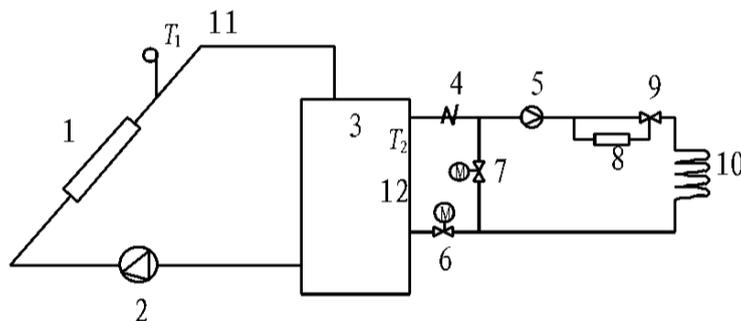
我国是太阳能资源十分丰富的国家, 为了更好地利用太阳能, 20世纪80年代科研人员根据各地接受太阳能总辐射量的多少, 将我国太阳能辐射资源带分为5类地区<sup>[1]</sup>: 1类地区年辐射量为6 680~8 400 MJ/m<sup>2</sup>, 相当于225~285 kg标准煤燃烧所发出的热量。2类地区年辐射量为5 852~6 680 MJ/m<sup>2</sup>, 相当于200~225 kg标准煤燃烧所发出的热量。3类地区年辐射量为5 016~5 852 MJ/m<sup>2</sup>, 相当于170~200 kg标准煤燃烧所发出的热量。4类地区年辐射量为4 190~5 016 MJ/m<sup>2</sup>, 相当于140~170 kg标准煤燃烧所发出的热量。5类地区年辐射量为3 344~4 190 MJ/m<sup>2</sup>相当于115~140 kg标准煤燃烧所发出的热量。

地板辐射采暖由于其热舒适性、热稳定性好, 节能效果显著, 清洁卫生<sup>[2]</sup>, 近年来, 在我国逐渐增多。地板辐射采暖的热媒是低温热水, 一般在50℃以下, 这使太阳能集热器作为热源成为可能<sup>[3]</sup>。在建设部制定的中国《住宅计划》纲要中提出: 根据当前的太阳能技术和产业条件以及今后发展的趋势, 太阳能低热水地板辐射采暖技术是实施中国《住宅阳光计划》的重点优先领域之一, 显然, 太阳能地板辐射采暖具有广阔的应用前景。笔者以郑州地区为例, 对太阳能地板辐射采暖系统进行了试验研究, 通过采暖热负荷计算, 分析太阳能作为地板辐射采暖热源的可行性。

## 1 太阳能地板辐射采暖系统原理

根据经验, 再结合我国实际情况, 太阳能地板辐射采暖系统可采用如图1所示的形式。当集热器出口水  $T_1 > 50$  ℃时, 启动集热水泵, 将水入集热器进行加热; 当  $T_1 < 45$  ℃时停止水泵, 如此反复使蓄热水箱的水温升至供暖水温。当蓄热水箱供暖水温  $T_2 > 45$  ℃时, 即可启动采暖循环泵进行采

暖, 和其他太阳能的利用一样, 太阳能集热器的热量输出受天气变化的影响。所以, 当需要采暖而太阳能不足时可开启三通阀, 利用辅助热源来提高水温。



注: 1 为太阳能集热器; 2 为集热循环泵; 3 为蓄热水箱; 4 为单向阀; 5 为采暖循环泵; 6、7 为电磁阀; 8 为辅助热源; 9 为三通阀; 10 为地理盘管; 11、12 为温度探头。

图1 太阳能地板辐射采暖系统原理

Fig.1 Schematic diagram of solar radiant floor heating system

## 2 太阳能地板辐射采暖的设计

**2.1 设计参数的确定** 地板辐射采暖的热媒温度低于60℃, 供回水温度差为10~15℃; 根据目前太阳能集热器的实际使用情况, 冬季郑州地区集热器温度可达45℃, 且温差点15℃是完全可能的。因此, 采暖供水温度采用45℃, 回水为30℃。

表1 郑州地区采暖期各月的平均面积热指标

Table 1 Average area thermal index of heating period in each month in Zhengzhou Area

月份 Month	采暖天数 Heating days	月均温度 Average month temperature	月均面积热指标 Average month area thermal index
11	15	7.8	21.07
12	31	1.7	33.66
1	31	-0.3	37.79
2	28	2.2	32.63
3	15	7.8	21.07
总计	120		

**2.2 采暖热负荷的确定** 根据《民用建筑采暖通风技术措施》所提供的单位面积热指标法给的数值, 采暖热负荷确定为45~70 W/m<sup>2</sup>, 选取50 W/m<sup>2</sup>。采用地板辐射采暖其热负荷为常规采暖热负荷值乘以0.95<sup>[4]</sup>, 则采暖设计热指标:  $q = 50 \text{ W/m}^2 \times 0.95 = 47.5 \text{ W/m}^2$ , 根据公式  $q = q \frac{T_{室内} - T_{平均}}{T_{室内} - T_{环境}}$

作者简介 贺立三(1963-), 男, 河南郑州人, 工程师, 从事太阳能光热光电利用方面的应用和研究。

收稿日期 2008-03-18

可计算出郑州地区采暖期各月的平均面积热指标,计算结果如表1所示。

表1 计算的结果,按热工计算法计算每天(按太阳能集热器每天运行8 h计)单位采暖面积需要的水量,公式为:

$$G = \frac{q}{C_p \cdot T} \quad (1)$$

式中,  $G$  表示日需热量,  $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ ;  $q$  表示采暖系统面积热负荷指标,  $\text{W}/\text{m}^2$ ;  $C_p$  水的平均定压比热容,  $4.18 \text{ KJ}/\text{kg} \cdot$ ;  $T$  表示采暖系统供回水温度差( ), 低温地板供回水温度差取  $10$ 。按公式1 计算的单位采暖面积日需热量11、12、1、2和3 月份分别为  $14.51$ 、 $23.19$ 、 $26.00$ 、 $24.48$  和  $14.51 \text{ kg}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ 。

**2.3 采暖期日平均累积太阳辐射量的确定** 郑州地区采暖期从11月15日到3月15日共计120 d,集热器冬季使用时最佳倾角为当地纬度再加  $10.00^\circ$ , 郑州地区地处北纬  $34.47^\circ$ , 故冬季最佳倾角为  $45.00^\circ$ , 由气象资料可查到郑州地区水平面

上的月平均日太阳能辐射总量( $\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ ),任意倾角辐射值可以用下式<sup>[5-6]</sup>求得。

$$H_T = H_b R_b + \frac{H_d(1 + \cos \alpha)}{2} + (H_b + H_d) \left( \frac{1 - \cos \alpha}{2} \right) \quad (2)$$

式中,  $H_T$  表示倾斜面上的总辐射量平均值,  $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ ;  $H_b$  表示水平面上直接辐射平均值,  $\text{W}/\text{m}^2$ ;  $H_d$  表示水平面上的散射辐射平均值,  $\text{W}/\text{m}^2$ ;  $R_b$  表示倾斜面上和水平面上直接辐射的比值;  $\rho$  表示地表平均反射率,取  $0.2$ 。

对于向南的倾斜面,  $R_b$  可由下式给出:

$$R_b = \frac{\overline{\sin(\alpha - \phi)} \sin \delta + \cos(\alpha - \phi) \cos \delta \sin \omega}{12 \overline{\sin \alpha \sin \phi + \cos \alpha \cos \phi \sin \omega}} \quad (3)$$

式中,  $\alpha$  表示斜面与水平面的倾斜角;  $\phi$  表示当地纬度;  $\delta$  表示太阳赤纬角。根据以上(2)、(3)式可以求的郑州地区倾角为  $45.00^\circ$  时的采暖期内月均日太阳总辐射值(表2)。

表2 郑州地区倾角  $45.00^\circ$  时的采暖期内当月平均日太阳总辐射值

Table 2 Daily solar radiation value during heating period in a north at the angle of  $45^\circ$  in Zhengzhou Area

月份 Month	水平面上月均日太阳 辐射总量 $\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ Daily solar radiation in a north above horizontal plane	$45.00^\circ$ 倾角时月均日太阳 辐射总量 $\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ Daily solar radiation in a north at the angle of $45.00^\circ$	采暖期内 $45.00^\circ$ 倾斜面上月太阳 辐射总量 $\text{MJ}/\text{m}^2$ Daily solar radiation in a north at the angle of $45.00^\circ$ during heating period	太阳能利 用系数 Solar energy ratio	$45.00^\circ$ 倾斜面上太阳辐 射总量 $\text{MJ}/\text{m}^2$ Solar radiation at the angle of $45.00^\circ$
11	8.82	15.80	237.00	0.5	118.00
12	7.78	13.07	405.17	0.5	202.59
1	8.68	15.69	486.38	0.5	243.19
2	10.53	15.80	442.40	0.5	221.20
3	13.13	16.85	252.75	0.5	126.38

由表2 可求出采暖期内日平均累积太阳辐射量  $I$  的值:  
 $I = 911.36 \text{ MJ}/\text{m}^2 / 120 = 7.594 \text{ MJ}/\text{m}^2$ 。

**2.4 集热器日产水量的确定** 以采用  $47 \times 1500 \text{ mm}$  的全玻璃真空管为例。根据以上计算得出的采暖期日均累积太阳辐射量  $I$  及厂家给出的太阳能集热器性能参数,按全玻璃真空管太阳能集热器热量平衡方程式求得一根全玻璃真空管太阳能集热管产热量<sup>[5-6]</sup>。

$$G = \frac{IA - V_L(T_2 - T_1) t A_L}{C_p(T_2 - T_1)} \quad (4)$$

式中,  $G$  表示水量,  $\text{kg}$ ;  $C_p$  表示  $T_1$ 、 $T_2$  范围内水的定压比热容,  $4.187 \text{ KJ}/\text{kg} \cdot$ ;  $T_1$  表示水的初始温度, ;  $T_2$  表示水的终止温度, ;  $\rho$  表示玻璃管太阳投射率;  $\alpha$  表示涂层的太阳吸收率;  $I$  表示累积太阳辐射总量,  $\text{KJ}/\text{m}^2$ ;  $A_a$  表示集热器采光面积,  $\text{m}^2$ ;  $V_L$  表示  $T_1 \sim T_2$  范围内水的平均热损系数,  $\text{W}/\text{m}^2$ ;  $t$  表示累积辐照日时,  $\text{h}$ ;  $A_L$  表示散热面积,  $\text{m}^2$ 。根据真空管的技术资料,上式中性能参数取以下值:  $\rho = 0.88$ ,  $\alpha = 0.9$ ,  $V_L = 0.9 \text{ W}/\text{m}^2$ ,  $A_a = 0.062 \text{ m}^2$ ,  $A_L = 137 \text{ m}^2$ 。代入公式

(4) 中即可求出一根全玻璃真空管太阳能集热器日产水量为  $4.90 \text{ kg}/\text{根}$ ,则可算出采暖期内单位建筑面积需要的集热器面积在11、12、1、2 和3 月份分别为  $0.18$ 、 $0.29$ 、 $0.32$ 、 $0.30$  和  $0.18 \text{ m}^2/\text{m}^2$ 。

### 3 结论

从以上结果可知,各月因需要热负荷不同,各月计算出的集热器面积也各不相同,采暖期内只要采用适当的集热器面积就可满足采暖所需热负荷的要求。因此,故在郑州地区利用太阳能作为地板辐射采暖的热源是完全可行的。

### 参考文献

- [1] 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,2006.
- [2] 杨文帅,王荣光,凌继红,等. 地板辐射供暖在生理卫生方面的特点[J]. 煤气与热力,2002(2):151-152
- [3] DB/T 01-49-2000, 低温热水地板辐射供暖应用技术规程[S]. 2000.
- [4] 王光荣,沈天行. 可再生能源利用与建筑节能[M]. 北京:机械工业出版社,2004.
- [5] 方荣生,项立成. 太阳能应用技术[M]. 北京:中国农业机械出版社,1985.
- [6] 刘森元,葛新石,陆维德. 太阳能热利用的理论基础[Z]. 1985.

### 参考文献

- [1] 钱水苗. 论流域生态补偿机制的构建[J]. 中国地质大学学报,2005(5):80-84.
- [2] 李磊,杨道波. 流域生态补偿若干文题研究[J]. 山东科技大学学报:社会科学版,2006,8(1):50-53.
- [3] 陈瑞莲,胡熠. 我国流域区际生态补偿:依据、模式与机制[J]. 学术研究,2005(9):71-74.
- [4] 曹明德. 论我国水资源有偿使用制度——我国水权和水权流转机制的理论探讨与实践评析[J]. 中国法学,2004(1):79-88.
- [5] 王浩,刘玉龙. 建立和完善水生态与环境补偿机制[J]. 中国水利学会2005 学术年会,2005.

(上接第6459页)

要生态功能区域进行财政转移支付:一是上游地区治理流域生态的直接成本,可用恢复成本法进行核算;二是上游地区治理流域生态的机会成本。补偿上游地区因保护生态环境而导致的财政减收,特别是因发展方式和机会受到一定限制而导致的收入减少,应当作为计算财政转移支付资金分配的一个重要因素。