

文章编号: 1005- 8893 (2006) 04- 0039- 04

# 太阳能在游泳池水加热中的应用<sup>\*</sup>

徐 丽, 蒋绿林, 罗迎宾, 左 睿

(江苏工业学院 机械工程系, 江苏 常州 213016)

**摘要:** 以上海城投新江湾体育中心的太阳能游泳池为实例, 介绍了太阳能加热系统在游泳池水加热中的应用。对系统的运行效果和经济性进行了分析, 指出虽然太阳能的利用具有一定的局限性, 但只要方法合理, 在一定程度上太阳能完全可以代替常规能源, 具有很好的经济效益。

**关键词:** 太阳能; 游泳池; 自动控制; 运行效果

**中图分类号:** TK 519

**文献标识码:** B

## Application of Swimming Pool Heating with Solar Energy

XU Li, JIANG Lv- lin, LUO Ying- bin, ZUO Rui

(Department of Mechanical Engineering, Jiangsu Polytechnic University, Changzhou 213016, China)

**Abstract:** Through the application of swimming pool heating with solar energy, the application of Swimming Pool Heating with solar energy is presented. The author analyses the working performance and economical efficiency of the syetem, and points out that although the usage of solar energy is limited, if the way is practicable, it is obvious that the solar energy can take the place of the traditional energy and produces advanced economic profits and environmental protection profits.

**Key words:** solar energy; swimming pool; auto control system; working performance

游泳池是一种大型的水体系统, 在自然条件下, 特别是在冬季, 为延长游泳池的使用时间并保持适宜的池水温度, 需要对池水进行加热, 因此游泳池也是一个耗能大户。游泳池的加热系统一般采用锅炉 (电锅炉、燃油锅炉或燃气锅炉), 但是运行费用太高, 而且对环境造成了严重的污染。如果利用清洁的可再生能源——太阳能对游泳池进行加热, 不仅运行费用低, 而且不会对环境产生破坏作用。所以, 在常规能源日趋紧张、环境日益恶化的今天, 使用太阳能对游泳池水进行加热具有重要的经济效益和环保效益。

在此, 结合一个所做工程实例对太阳能在游泳

池水加热中的应用作介绍。

## 1 工程概况

该工程是上海城投新江湾体育中心太阳能温水游泳池, 游泳池表面积  $375\text{ m}^2$ , 体积  $638\text{ m}^3$ 。游泳池建在室内, 室内有中央空调。根据需要, 太阳能集热系统仅供室内游泳池水的加热, 池水温度控制在  $(27\pm 1)\text{ }^\circ\text{C}$ , 室内温度  $25\text{ }^\circ\text{C}$ 。游泳池四季全天候开放, 采用“太阳能+ 燃油锅炉”的形式联合供热。

## 2 基本计算

\* 收稿日期: 2006- 06- 05

作者简介: 徐丽 (1981- ), 江苏徐州人, 硕士研究生; 联系人: 蒋绿林。

## 2.1 加热系统热负荷的计算<sup>[1,2]</sup>

### 2.1.1 水面蒸发损失的热量

计算公式:

$$Q_1 = 4.187 \gamma (0.0174 v_f + 0.0229) (p_b - p_q) S \frac{760}{p}$$

其中:  $\gamma$ —与池水温相等时, 水的蒸发汽化潜热, kcal/kg;  $v_f$ —池水面的风速, m/s, 室内游泳池: 0.2~0.5 m/s;  $p_b$ —与池水温度相等的饱和空气的水蒸汽分压力, Pa;  $p_q$ —游泳池的室内环境空气的水蒸汽分压力, Pa;  $S$ —游泳池水面面积, m<sup>2</sup>;  $p$ —当地的大气压力, Pa。

这里取:  $\gamma = 581.9$  kcal/kg,  $v_f = 0.3$  m/s,  $p_b = 3.55 \times 10^3$  Pa,  $p_q = 1.73 \times 10^3$  Pa,  $p = 1.01 \times 10^5$  Pa。

计算得:  $Q_1 = 351\,980.4$  kJ/h。

### 2.1.2 水面传导损失的热量

计算公式:

$$Q_2 = 4.187 \alpha F (t_s - t_q)$$

其中:  $\alpha$ —水面传热系数, 近似采用 8 kcal/m<sup>2</sup>·h·°C;  $t_s$ —池水温度, °C;  $t_q$ —游泳池室内的空气温度, °C。

计算得:  $Q_2 = 35\,122$  kJ/h。

### 2.1.3 池底和池壁传导损失的热量

计算公式:

$$Q_3 = 4.187 K F (t_s - t_t)$$

其中:  $K$ —池底和池壁的传热系数, 与土壤接触时取  $K = 1$  kcal/m<sup>2</sup>·h·°C;  $t_s$ —池水温度, °C;  $t_t$ —土壤或空气的温度, °C, 取  $t_t = 18$  °C。

计算得:  $Q_3 = 14\,131.125$  kJ/h。

### 2.1.4 管道和设备的热损失

管道和设备的热损失按以上 3 项和的 15% 计算, 则:  $Q_4 = 58\,685$  kJ/h。

设计每天开放 8 h, 总散热量为

$$Q_0 = (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4) \times 8 = 3\,599\,348.2 \text{ kJ}$$

### 2.1.5 未开放时的热损

在未开放的 16 h 内, 用薄膜覆盖池面, 所以不存在水面蒸发损失热量, 水表面传导损失热量重新计算得 (室内温度为 15 °C):

$$Q'_2 = 150\,732 \text{ kJ/h}$$

池底和池壁传导损失的热量同白天, 管道和设备损失的热量按以上 3 项和的 15% 计算, 则:

$$Q'_4 = 24\,729.5 \text{ kJ/h}$$

所以未开放的 16 h 内总散热量:

$$Q'_0 = (Q'_2 + Q_3 + Q'_4) \times 16 = 3\,033\,481 \text{ kJ}$$

### 2.1.6 每天补充新水所需热量

每天按补充 5% 的新水 (初温为 10 °C) 计算, 则补充新水加热所需热量为:

$$Q_b = mc \Delta t = 638 \times 4.187 \times 1\,000 \times 5\% \times (27 - 10) = 2\,270\,610.1 \text{ kJ}$$

### 2.1.7 每天总耗能量

$$Q = Q_0 + Q'_0 + Q_b = 8\,903.4 \text{ MJ}$$

泳池每天开放时所需的保温能量为:

$$Q = Q_0 + Q_b / 3 = 4\,356.22 \text{ MJ}$$

开放时的保温功率为:

$$P = Q' / (8 \times 3\,600) = 151.3 \text{ kW}$$

## 2.2 集热面积

由于有燃油锅炉作为辅助热源, 因此为了有效地利用集热器, 降低投资, 太阳能集热系统的集热能力按上海地区春秋季节晴天平均太阳辐射量  $I$  设计。按前所述, 每天 24 h 所需要的能量, 上海地区春秋季节晴天平均太阳辐射量  $I$  (朝南, 35°斜面) 约为 23 MJ/(m<sup>2</sup>·d), 则所需的太阳能热水系统集热面积按下式计算<sup>[3]</sup>:

$$S_1 = \frac{Qf}{I \cdot \eta_j (1 - \eta_s)}$$

其中:  $Q$ —热负荷, kJ;  $f$ —太阳能保证率, 无因次, 晴好天气  $f = 1$ ;  $\eta_j$ —集热器全日集热效率, 取 0.55;  $\eta_s$ —管路及储水箱热损失率, 取 0.1。

计算得:  $S_1 = 782 \text{ m}^2$ 。

考虑集热采光, 建筑需有 1 124 m<sup>2</sup> 的现场面积, 现在有可布集热器场地 600 m<sup>2</sup>, 最大可布集热面积 400 m<sup>2</sup>。实际平均每天产生的热量:

$$Q = IS_1 \eta_j (1 - \eta_s) = 23 \times 0.495 \times 400 = 4\,554 \text{ MJ}$$

该能量占总能量的 51.2%, 其他 48.8% 的能量由辅助热源燃油锅炉提供。

## 3 系统设计

### 3.1 系统形式

系统采用“太阳能+燃油锅炉”的形式联合加热游泳池水, 采用定温控制与温差循环相结合的控制方式 (见图 1)。系统设置 6 t 储热水箱 1 只, 主要起缓冲作用, 保持系统稳定运行, 同时储蓄当天白天多余的太阳能能量。太阳能热水通过板式换热器和池水循环泵对池水进行加热, 其中加热循环和游泳池水处理系统并联运行。当太阳能收集较少或

温度过低时, 使用燃油锅炉补充加热池水, 通过板式换热器提供补充能量。

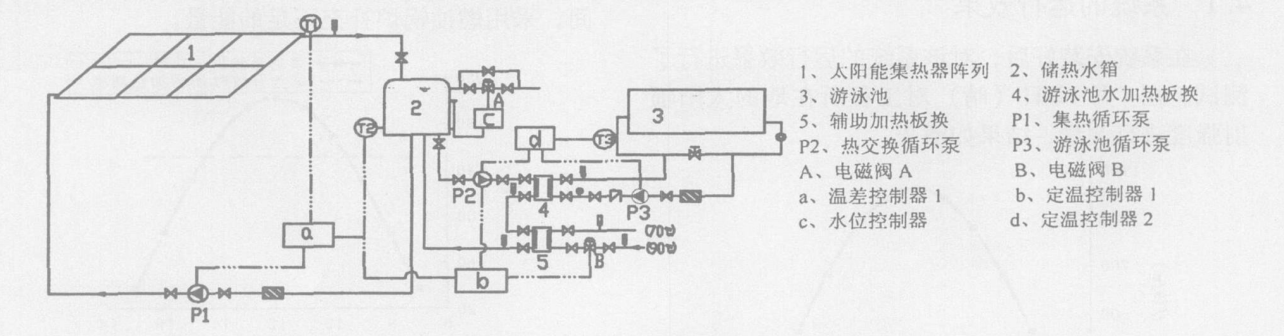


图 1 太阳能游泳池系统原理图

Fig. 1 Schematic diagram of swimming pool heating with solar energy

3.2 太阳能集热器的选择及连接方式

目前国内的太阳能集热器主要有平板型, 全玻璃真空管型, 真空热管型等。平板型集热器具有集热快、价格低、承压高、耐热冲击性能好等特点, 但集热器工作温度低、不耐冰冻。全玻璃真空管集热器的热效率高, 其成本、耐冰冻、夜间保温性能介于热管集热器和平板集热器之间, 承压能力较低, 耐热冲击能力较差, 空晒系统注入冷水后有可能炸裂真空管, 系统可靠性较差 (一根管子破裂, 整个系统需停用检修), 玻璃管内易结垢, 难清理。真空热管集热器的热效率也较高, 三者之中价格也最高, 但其承压能力大; 耐热冲击性能好, 因真空管内不走水, 即使空晒时上水也不会使玻璃管炸裂; 耐冰冻, 玻璃管内不会结垢; 系统工作可靠性强, 即使有玻璃管破损, 系统仍可继续工作。

本系统采用真空热管集热器, 连接方式为串并联。串并联连接可避免串联过多引起的热效率降低及并联过多引起的阻力不平衡等问题。

3.3 缓冲蓄能水箱

在本系统中设置一个水箱, 该水箱主要用来起缓冲和储蓄当天白天多余的太阳能能量的作用, 采用纯水循环, 因此设计该水箱的有效容积为  $6\text{ m}^3$ 。

3.4 配套的辅助热源

太阳能系统的运行不可避免地要受到气候条件的影响, 当太阳能收集较少或温度较低时, 必须使用辅助热源加热。本系统采用燃油锅炉作为辅助热源。辅助热源的制热能力应  $8\text{ h}$  不小于  $3\ 530\text{ MJ}$ , 采用一台  $125\text{ kW}$  的燃油锅炉。

3.5 板式热交换器

“太阳能+ 燃油锅炉”加热系统通过板式热交换器加热游泳池水。考虑到游泳池水对设备的腐蚀作用, 板式热交换器材质为  $316\text{L}$  不锈钢。热交换功率为  $240\text{ kW}$ , 以保证初始加温在  $48\text{ h}$  内将游泳池水加热到设定温度。

3.6 自动控制

3.6.1 集热循环

当集热器出水温度与水箱温度之差  $>$  温差参数 (正常模式  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) 时, 集热循环泵打开, 直至集热器出水口温度与水箱温度之差  $\leq$  温差参数 (正常模式  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) 时, 集热循环泵自动关闭。

3.6.2 游泳池加热循环

当池水温度  $<$  设定温度 (正常模式  $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) 时, 泳池循环泵与热交换循环泵同时打开, 通过池水加热板换对池水进行加热, 当池水温度  $\geq$  设定温度 (正常模式  $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) 时, 两泵自动关闭。

3.6.3 辅助加热

辅助热源供热管上安装电磁阀, 当水箱温度  $<$  设定温度 (正常模式  $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) 时, 电磁阀与热交换循环泵启动, 通过辅助加热板换对从池水加热板换出来的水箱水进行加热。当水箱水温度  $\geq$  设定温度 (正常模式  $52\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) 时, 电磁阀和热交换泵自动关闭。

3.6.4 水箱的补水

水箱补水为恒水位控制。当水箱水位低于设定值时, 补水电磁阀自动打开, 对水箱进行补水, 当水箱水位高于设定值时, 电磁阀自动关闭。

4 系统的运行效果及经济性分析

4.1 系统的运行效果

在系统安装好后, 对该系统的运行效果进行了测试。在 4 月 12 日 (晴) 对工程所在地的太阳辐射强度进行测量, 结果如图 2。

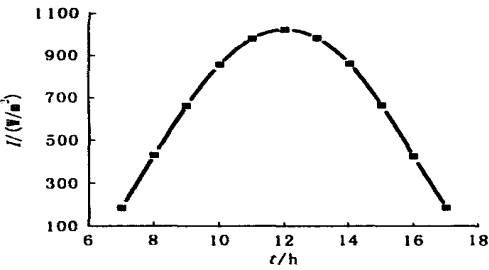


图 2 35°斜面上小时辐射强度

Fig. 2 Radiant intensity of hour on 35° incline

晴天该太阳能集热系统的供热功率, 如图 3。由图 3 可见, 在晴好天气下, 从上午 9: 30 到下午 14: 30, 太阳能集热系统的集热量一直都可满足泳池开放时池水保温所需的能量, 而且有剩余。剩余的能量保存在储热水箱中, 供当天阳光不足时或夜

晚保温使用, 以节约运行费用。在开放时的其他时间, 采用燃油锅炉补充不足的能量。

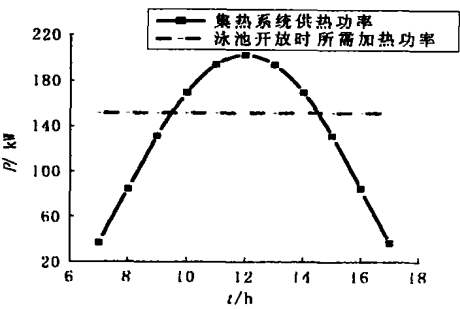


图 3 集热系统供热功率

Fig. 3 Heat capacity of collector system

4.2 系统运行的经济性分析

4.2.1 系统的经济性

具体分析见表 1。从表 1 的分析可知, 采用太阳能的方式加热的游泳池运行费用较低, 相对于燃油锅炉来说, 每年可节约 231 249 元的运行费用。

表 1 系统运行的经济性

Table 1 Economical benefits of the system

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
降雨日数/天	6.0	7.4	9.4	10.0	9.6	10.3	8.7	7.6	9.0	5.9	5.1	4.7
晴天 35°面上日平均辐射强度/ (MJ/m²·d)	12.88	16.69	21.56	24.85	26.99	28.63	32.68	30.62	23.01	17.21	13.95	11.55
晴天集热系统平均每天提供的热量/MJ	2 250.23	304.64	268.94	920.35	344.05	668.76	470.66	062.84	556.03	407.62	762.12	286.9
晴天每天可节约 0# 柴油/L	93.3	137.0	177.6	204.0	221.6	235.1	268.3	251.4	188.9	141.3	114.5	94.8
晴天每天可节约费用/元	453.4	665.9	863.1	991.5	1 077.0	1 142.6	1 303.9	1 221.8	918.1	686.7	556.6	460.8
每月可节约费用/元	11 336	13 718	18 644	19 831	23 047	22 509	29 078	28 590	19 279	19 237	13 860	12 120
年节约费用/元	231 249											

说明: (1) 燃油锅炉的效率为 80%, 管道热损为 20%, 0# 柴油的热值为 9 000 kcal/L; (2) 按上海地区 0# 柴油的价格为 4.86 元/L。

4.2.2 系统投资的回收

本系统投资费用为 64.3 万元。如果采用燃油锅炉加热系统, 则需要的投资约为 30 万元。本系统相对于燃油锅炉来说, 每年可节约 231 249 元的运行费用, 则在 1.5 年内就可以回收超出燃油锅炉加热系统的投资, 在 2.78 年内可回收系统的初投资。

筑的完美结合, 既能使系统安全可靠地运行, 又不会破坏屋面环境。要根据现场建筑的现有条件、承重、抗风等, 确定集热器及水箱的位置。

(3) 为了使集热效果达到最好, 要选择合理的集热器; 为了保证系统的稳定连续的运行, 要设置合适的储热水箱, 并采用合理经济的辅助热源和可靠的自动控制系统。

5 总结

(1) 太阳能是清洁的可再生能源, 利用太阳能集热系统加热的游泳池不仅运行费用低, 而且无污染物排放; 同时, 只要设计合理, 太阳能集热系统完全可以满足白天游泳池开放时所需的能量。所以太阳能集热系统是游泳池理想的加热配套设施。

(2) 太阳能集热器在设计 and 安装中要实现与建

参考文献:

[1] 陈耀宗. 建筑给排水设计手册 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001. 324- 327.  
[2] CECS14: 2002, 游泳池和水上游乐池给排水设计规程 [S].  
[3] 杨建坤, 张旭. 采用太阳能加热系统的泳池设计 [J]. 节能, 2004, (2): 27- 28.