

文章编号: 1004-7271(2001)04-0343-04

## 太阳能热泵系统的综合评价

刘立平, 葛茂泉

(上海水产大学食品学院, 上海 200090)

**摘要:** 本文采用层次分析法对不同类型的太阳能热泵进行了综合评价, 确定了评价指标, 并建立了太阳能热泵层次结构模型, 借助计算程序, 给出了各指标的权重, 结合各评价指标的评分值, 利用线性加权法, 算出了四种太阳能热泵的综合评分, 进而全面地、客观地给出了评价结果。

**关键词:** 太阳能热泵; 层次分析法; 层次结构模型

**中图分类号:** TK513      **文献标识码:** A

## Comprehensive evaluation of solar assisted heat pump

LIU Li-ping, GE Mao-quan

(College of Food Science, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China)

**Abstract:** Different types of the solar assisted heat pumps were evaluated comprehensively, using analytic hierarchy process in this paper. The evaluating criteria were determined, and an analytic hierarchical structure model was created, and the weight values of all criteria were given with a computer program. Combined with the grades of all criteria, comprehensive grades of four types of solar assisted heat pumps were given, using a way of the linearity weight. Then the evaluation results were given comprehensively and objectively.

**Key words:** solar assisted heat pump; analytic hierarchy process; hierarchical structure model

根据太阳能集热器与热泵装置的连接方式不同<sup>[1]</sup>, 太阳能热泵系统可分为串联式、并联式和双热源式。三种太阳能热泵中, 热泵的热源分别为太阳能、环境空气、太阳能和环境空气兼而有之。串联式又可分为两种: 一种即常规太阳能辅助热泵, 在该装置中, 太阳能集热器和热泵蒸发器是两个独立的部件, 其间通过储热器相连, 储热器用于存储太阳能; 集热器内的工质为水或空气。另一种为直接膨胀式太阳能热泵, 该装置中, 将太阳能集热器用作热泵蒸发器, 内充制冷剂。各太阳能热泵装置示意图如图1、图2、图3和图4。

这四种太阳能热泵各有各的优缺点, 对它们的评价需从多方面来考虑, 因此, 一般只从它们的效率、提供的能量的大小以及安装情况进行对比分析, 很难给出全面的评价结果。本文引入了层次分析法(AHP法)<sup>[2]</sup>, AHP法是美国运筹学家沙旦于1979年代提出的, 是一种定性与定量分析相结合的多目标决策分析, 适用于多层次的综合评价问题。对太阳能热泵系统的评价需从它的热性能、经济性、可靠性及实用性等多项因素进行考察、分析, 属于多项因素分层次考虑的问题, 所以可采用层次分析法。

收稿日期: 2001-06-25

第一作者: 刘立平(1974-), 女, 辽宁昌图人, 工学硕士, 主要从事制冷研究。Tel: 65710949. E-mail: lpliu@shfu.edu.cn

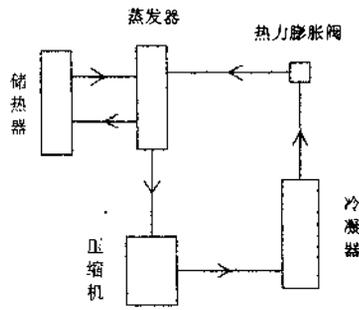


图 1 常规太阳能热泵

Fig. 1 common solar assisted heat pump

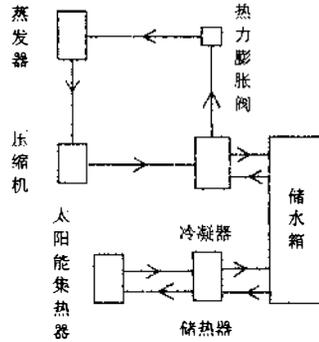


图 2 并联式太阳能热泵

Fig. 2 parallel solar assisted heat pump

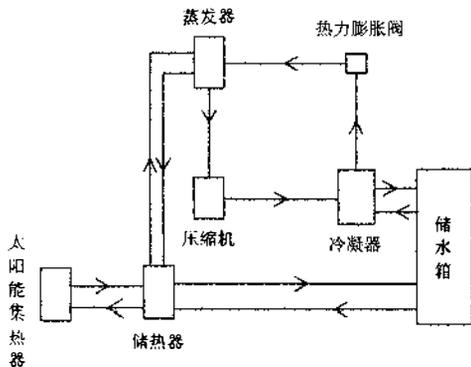


图 3 双热源式太阳能热泵

Fig. 3 dual heat sources solar assisted heat pump

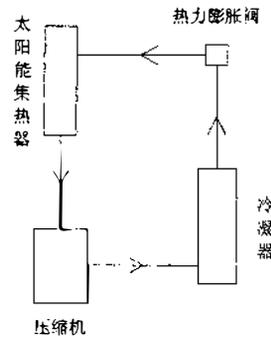


图 4 直接膨胀式太阳能热泵

Fig. 4 direct expansion solar assisted heat pump

### 1 评价指标和梯阶层次模型

对于给定的评价问题,若采用层次分析法,首先需对这一具体问题进行全面调查、了解、分析,给出因素(评价指标),根据所列的因素(评价指标)之间的相互联系和不同性质进行分类,然后,构成一个梯阶层次结构模型。

评价指标的选择既要全面考虑,又要重点突出。针对评价太阳能热泵这一问题,需从它的热性能、可靠性、经济性和使用性等方面着手,进行全面分析,归纳出评价指标。既要给出定性的评价指标(如安装方便等),又要给出定量的评价指标(如热泵效率等)。本文主要考虑了太阳能热泵的热性能、经济性,此外还考虑了系统的可靠性、外观及使用性。

此外,评价指标的个数要适当,浓缩评价指标的个数的原则是:(1) 相关性强的指标应合并;(2) 重复或互相包含的指标要删除;(3) 无足轻重的指标可忽略。

经分析、整理,所给的评价指标如图 5 所示。

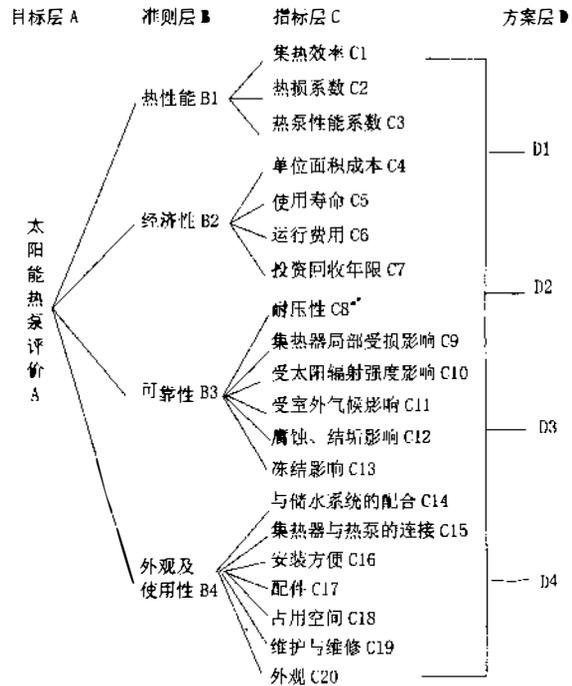


图 5 综合评价梯阶层次模型

Fig 5 Analytic hierarchical structure model for comprehensive evaluation

梯阶层次模型的确定与评价目的有关。本文所提出的模型主要是对不同类型的太阳能热泵进行综合评价。就某一具体的评价问题,梯阶层次模型一般分为目标层、准则层、指标层和方案层。本文提出的太阳能热泵系统的综合评价梯阶层次模型如图5所示。

此模型从目标层A到指标层C包含了1个主层次和4个子层次。

$D_1$ 、 $D_2$ 、 $D_3$ 、 $D_4$  分别代表常规太阳能热泵、并联式太阳能热泵、双热源式太阳能热泵和直接膨胀式太阳能热泵。

各评价指标对总体目标的评价具有不同的重要性,其差别可用权重描述。

表1 指标的权重值

Tab.1 the weight value of criteria

目 标	准 则	W <sub>i</sub>
太阳 热泵	热性能 $B_1$	0.3908
	经济性 $B_2$	0.3908
	可靠性 $B_3$	0.1509
	外观及使用性 $B_4$	0.0675

## 2 评价指标的权重计算结果

根据太阳能热泵的技术性能、使用要求等,本文采用层次分析法<sup>[3]</sup>,借助计算程序<sup>[4]</sup>,确定了各评价指标的权重,如表1、2所示。

表2 指标的权重值

Tab.2 the weight value of criteria

准则	评 价 指 标	W <sub>i</sub>	评 分 分 值			
			D1	D2	D3	D4
热 性 能 $B_1$	集热效率 C1	0.1217	7	7	7	8
	热损系数 C2	0.0758	7	7	7	8
	热泵性能系数 C3	0.1932	8	7	6	7
经 济 性 $B_2$	单位面积成本 C4	0.2120	7	7	6	8
	使用寿命 C5	0.0762	7	7	8	7
	运行费用 C6	0.0598	8	7	6	7
	投资回收年限 C7	0.0427	8	7	6	7
可 靠 性 $B_3$	承压性 C8	0.0303	6	7	7	6
	集热器局部受损影响 C9	0.0303	6	7	7	6
	受太阳辐射强度影响 C10	0.0174	6	7	7	6
	受室外气候影响 C11	0.0152	6	7	7	6
	腐蚀、结垢影响 C12	0.0274	6	7	7	7
	冻结影响 C13	0.0303	6	6	6	7
外 观 及 使 用 性 $B_4$	与储水系统的配合 C14	0.0131	8	7	7	8
	集热器与热泵的连接 C15	0.0074	7	8	6	7
	安装方便 C16	0.0172	7	7	6	8
	配件 C17	0.0088	7	8	7	6
	占用空间 C18	0.0055	8	7	6	8
	维护与维修 C19	0.0070	7	8	6	6
	外观 C20	0.0084	8	7	6	8
综合评价结果(总分)			7.1697	6.9905	6.4876	7.3426

注:表中  $W_i$  表示第  $i$  个指标对总体目标的权重。

## 3 综合评价计算分析

综合评价的最终目的是要给出被评价问题的定量描述,并排出优劣次序。本文对太阳能热泵的热性能、经济性、可靠性、外观及使用性等方面的因素进行了评价。为此,可采用评分的方法来给出各指标的量化,并约定对各项指标的评分最高值为10。限于太阳能热泵在我国应用范围相当窄,有的甚至仅仅是处于研究阶段。所以,本文中所给的评分值为根据有关文献评价确定的<sup>[5-9]</sup>。

由于“线形加权”模型强调按各因素全面考虑的原则去评价事物。它对所有因素依权重的大小均

衡兼顾,比较适用于对太阳能热泵的综合评价。综合评价的总分为 SUM:

$$SUM = \sum_{i=1}^n W_i \cdot G_i$$

式中,  $W_i$ ——对应于第  $i$  项的权重;

$G_i$ ——某被评价问题对应于指标  $C_i$  的评分值。

综合评价结果,在太阳能热泵的热性能和经济性能较高的情况下,直接膨胀式太阳能热泵为最优,常规太阳能热泵系统次之,第三为并联系统。双热源系统排在最后。常规太阳能热泵具有较好的热泵性能,但因其单位面积成本高,而该项的权重值为 0.2120,从而影响了其名次。双热源式太阳能热泵的使用寿命较长,但终因其热泵性能差而位居最末。可见层次分析法能够较全面、客观地综合评价不同类型的太阳能热泵。

应当指出:评价指标及其权重不是一成不变的,不同目的、不同层次的要求都会影响对指标权重的判断和决定。为了给出明确的评价,正确确定评价指标和各项指标的权重是很重要的,必须咨询熟悉被评价问题和精通有关领域理论和技术的专门人员和决策者及用户进行评价,这样评价结果才趋于合理。

#### 4 结论

(1)层次分析法采用梯阶层次结构模型来简化综合评价问题,将人的主观判断(定性分析)定量化,进而给出全面评价指标,为综合评价太阳能热泵提供了一种行之有效的方法。

(2)根据太阳能热泵的技术性能、使用要求等,利用层次分析法,算出各评价指标的权重,使得评价结果全面、客观,更趋于合理。

(3)采用“评分”方法,给出了各指标的量化,并利用线形加权法,得出各类型太阳能热泵的综合评分分值,进而给出综合评价太阳能热泵这一问题的定量描述,使得各太阳能热泵的评价更简洁。

#### 参考文献:

- [1] 刘 涪. 住宅采暖用太阳能辅助热泵和储热器[J]. 新能源, 1995, 17(1): 40-43, 36.
- [2] 甘应爱, 田 丰, 李维铮, 等. 运筹学(第二版)[M]. 北京: 清华大学出版社, 1997. 461-466.
- [3] 刘 豹, 许树伯, 赵焯巨, 等. 层次分析法—规划决策的工具[J]. 系统工程, 1984, (2): 23-30.
- [4] 刘立平. 一种直接膨胀式太阳能热泵的理论及实验研究[D]. 天津: 天津大学, 1999.
- [5] 赵 军, 马一太. 太阳能热泵供热水系统的实验研究[J]. 太阳能学报, 1993, (4): 306-310.
- [6] Anderson J V, Mitchell J W, Bechtman W A. A design method for parallel solar assisted heat pump system[J]. Solar Energy, 1980, (25): 155-163.
- [7] Chaturvedi S K, Shen J Y. Thermal performance of a direct expansion solar assisted heat pump[J]. Solar Energy, 1984, (39): 421-428.
- [8] Kaygusuz K, Comakli O, Ayhan T. Solar assisted heat pump system and energy storage[J]. Solar Energy, 1991, (47): 383-391.
- [9] Morrison G L. Simulation of packaged solar heat pump water[J]. Solar Energy, 1994, (53): 249-257.