

空调冷热源方案评选的加乘模型^{*}

华北水利水电学院 王梅杰[☆]

西南交通大学 狄卫民

华北水利水电学院 刘慧卿

摘要 为体现普通指标的可补偿性和特殊指标的弱补偿性,提出空调冷热源方案评选的加乘模型。该模型利用熵权对普通指标的权重数值加以调整,根据相应于两类指标的综合目标效果测度得到可行方案的优先顺序。计算表明,利用该模型可得到符合工程实际的评选结果。

关键词 空调冷热源 方案评选 加乘模型 熵权

Add-multiple model for scheme selection of air conditioning cold and heat sources

By Wang Meijie[★], Di Weimin and Liu Huiqing

Abstract To reflect compensable attribute of common items and independent characteristics of specific items, presents an add-multiple model, which adjusts the weight values of common items according to their entropy weights, and evaluates the feasible schemes according to the synthetic effect measure with common items and specific items. Calculation results show that using the model can obtain the result meeting practice projects.

Keywords air conditioning cold and heat sources, scheme selection, add-multiple model, entropy weight

★ North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, Zhengzhou, China

①

0 引言

由文献[1]可知,空调冷热源方案的优劣可以通过方案的目标效果测度来衡量,且方案的目标效果测度越大方案越优。文献[1]给出了 n 个评价指标、 m 个可行方案时的方案目标效果测度向量:

$$U = WR \quad (1)$$

式中 U 为方案目标效果测度向量; W 为评价指标的权重向量; R 为评价指标对应可行方案的测度矩阵。这样,第 j ($j=1,2,\dots,m$) 个可行方案的目标效果测度为

$$u_j = \sum_{i=1}^n w_i r_{ij} \quad (2)$$

式中 u_j 为第 j 个可行方案的目标效果测度; w_i 为第 i 个评价指标的权重; r_{ij} 为第 i 个评价指标对应第 j 个可行方案的测度。

由式(1),(2)可知,各方案的目标效果测度都是基于加权求和的,因而上述模型实质上是一种加模型。在该模型中,不同的评价指标之间可以相互补偿,任何指标都没有独立的否决权。但在特殊情况下,有些指标是难以补偿的,如安全环保指标、反映业主个性化要求的指标。针对这些弱补偿性指标,加模型不能满足方案评选的要求,为此,提出以下空调冷热源方案评选的加乘模型。

1 空调冷热源方案评选的加乘模型

1.1 加乘模型的数学描述

为叙述方便,称弱补偿性指标为特殊指标,可补偿性指标为普通指标。将两类指标重新排列,记普通指标为 a'_1 ,

①☆ 王梅杰,女,1972 年 1 月生,硕士研究生,工学硕士,讲师
450008 郑州市郑化路 20 号华北水利水电学院环境工程系
建环教研室

(0371) 65790806

E-mail:wmjdwm@eyou.com

收稿日期:2004-11-02

* 华北水利水电学院青年科研基金项目(编号:HSQJ2004020)

$a'_2, \dots, a'_l$, 特殊指标为 $a'_{l+1}, a'_{l+2}, \dots, a'_n$, 相应地, 记 $a'_i (i=1, 2, \dots, n)$ 对应的权重为 v_i , $a'_i (i=1, 2, \dots, n)$ 对应第 $j (j=1, 2, \dots, m)$ 个可行方案的测度为 r'_{ij} 。令普通指标的权重之和为 1, 将指标 $a'_i (i=1, 2, \dots, l)$ 的权重依据熵技术法加以调整 (见 1.2 节); 令特殊指标的权重之和为 $n-l$, 将指标 $a'_i (i=l+1, l+2, \dots, n)$ 的权重调整为

$$w'_i = \frac{(n-l)v_i}{\sum_{k=l+1}^n v_k} \quad (3)$$

式中 w'_i 为特殊指标 $a'_i (i=l+1, l+2, \dots, n)$ 调整后的权重, v_k 为特殊指标 a'_k 事先确定的权重。

求取普通指标的算术平均值 u_{j1} 作为第 $j (j=1, 2, \dots, m)$ 个方案相应于普通指标的目标效果测度, 即

$$u_{j1} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^l w'_i r'_{ij} \quad (4)$$

式中 u_{j1} 为第 j 个方案相应于普通指标的目标效果测度; r'_{ij} 为普通指标 a'_i 对应第 j 个可行方案的测度。

求取特殊指标的几何平均值^[2] u_{j2} 作为第 $j (j=1, 2, \dots, m)$ 个方案相应于特殊指标的目标效果测度, 即

$$u_{j2} = \left(\prod_{i=l+1}^n w'_i r'_{ij} \right)^{\frac{1}{n-l}} \quad (5)$$

然后, 联合相应于两类指标的测度结果便得到第 j 个方案的综合目标效果测度:

$$u'_j = (u_{j1} u_{j2})^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

式中 u'_j 为第 j 个方案的综合目标效果测度。根据式 (4), (5) 可得:

$$u'_j = \left[\left(\sum_{i=1}^l w'_i r'_{ij} \right) \left(\prod_{i=l+1}^n w'_i r'_{ij} \right)^{\frac{1}{n-l}} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

由此可见, 如果特殊指标中的某个 r'_{ij} 为 0, 则 u'_j 必定为 0, 这较好地体现了特殊指标的弱补偿性。由上述算式可见, 各方案的综合目标效果测度是同时基于加权和与加权积的, 故称其为空调冷热源方案评选的加乘模型。这时, 可以依据 u'_j 确定各方案的优先顺序, 数值最大者对应最优方案。

1.2 普通指标权重的熵技术调整

指标权重直接体现了指标的相对重要程度, 间接反映了专家的良好建议。指标赋权的方法很多, 如专家调查法、层次分析法、二项系数法等, 实际工程中常用专家调查法。值得注意的是, 这些赋权方法得到的权重都具有完全的事先性和一定的主观性, 它未必能贯穿评选过程的始终。譬如, 冷热源系统的年运行费是方案评选中的一个重要指标, 因而专家们会给该指标一个相对较大的权重, 但是, 如果各个可行方案的该指标都相等, 人们实际评选时通常会忽略该指标的评价作用, 即令其权重为 0, 而对其他普通指标则会增大其权重之和, 并对它们的重要性进行重新考察。由此可见, 实际评选时的权重并非就是事先确定的权重 (以下

称事先权重), 为了得到合理的运算结果, 评选方案时应根据指标数值对普通指标的事先权重作适当调整。熵技术法较好地解决了这个问题。熵技术法^[3-4] 是利用熵度量指标数值提供的有用信息, 利用熵权体现可补偿指标的竞争程度, 并以熵权为依据实现指标权重动态分配的一种信息化方法。为体现指标数值的作用, 定义普通指标 $a'_i (i=1, 2, \dots, l)$ 的熵为

$$H_i = -k \sum_{j=1}^m f_{ij} \ln f_{ij} \quad (8)$$

$$f_{ij} = \frac{r'_{ij}}{\sum_{p=1}^m r'_{ip}} \quad (9)$$

$$k = (\ln m)^{-1} \quad (10)$$

式中 H_i 为普通指标 a'_i 的熵; r'_{ip} 为普通指标 a'_i 对应第 p 个可行方案的测度, 并规定 $f_{ij}=0$ 时, $f_{ij} \ln f_{ij}=0$ 。为反映普通指标在其数值意义下的重要程度, 定义指标 a'_i 的熵权为

$$\omega'_i = \frac{1-H_i}{l - \sum_{p=1}^l H_p} \quad (11)$$

式中 ω'_i 为普通指标 a'_i 的熵权; H_p 为普通指标 a'_p 的熵。

可见, $0 \leq \omega'_i \leq 1$ 且 $\sum_{i=1}^l \omega'_i = 1$ 。根据以上定义可知, 当某个指标对应各方案的数值完全相同时, 该指标的熵值达到最大值 1, 熵权值为 0, 这说明该指标未能提供任何有用信息, 应予取消并将其权重补偿给其他普通指标; 当某个指标对应各方案的数值相差较大时, 该指标的熵值较小, 熵权值较大, 这说明该指标能够提供较多的有用信息, 应予重点考察。将指标的事先权重 v_i 与熵权 ω'_i 相结合, 得到调整后的权重 w'_i , 为满足 $0 \leq w'_i \leq 1$, $\sum_{i=1}^l w'_i = 1$ 的要求, 可令

$$w'_i = \frac{v_i \omega'_i}{\sum_{p=1}^l v_p \omega'_p} \quad i=1, 2, \dots, l \quad (12)$$

式中 w'_i 为普通指标 a'_i 调整后的权重; v_p 为普通指标 a'_p 的事先权重; ω'_p 为普通指标 a'_p 的熵权。这样, w'_i 既体现了专家的意见, 又包含了指标值提供的有用信息, 可以较全面地反映普通指标 a'_i 的实际意义。

2 加乘模型算例

某高层建筑用作宾馆和办公楼, 其集中空调系统冷热负荷分别为 2 540 kW 和 1 840 kW。根据工程实际, 提出以下 3 种典型冷热源方案: 1) 离心式冷水机组 1 407 kW×2 台+燃油热水炉 1 163 kW×2 台; 2) 直燃型溴化锂吸收式冷热水机组 1 453 kW×2 台; 3) 空气源热泵型冷热水机组 351 kW×8 台。选取初投资、年运行费、安全性、环境影响、技术先进性和操作管理便利性 6 个指标作为评价指标, 其权重向量采用专家调查法得到, 为 $W=(0.28, 0.30, 0.10, 0.05, 0.17, 0.10)$, 各指标对应各方案的初始数值见表 1^[5-6]。

表 1 评价指标数值

序号	评价指标	方案 1	方案 2	方案 3
1	初投资/万元	417	462	633
2	年运行费/万元	108	142	146
3	安全性	80	80	100
4	环境影响(CO ₂ 释放量)/(kg/h)	349	399	500
5	技术先进性	80	78	90
6	操作管理便利性	80	78	90

注:3,5,6 项按百分制打分。

将初始数值 a_{ij} 进行规格化^[1],其中,对越大越好的指标采用上限效果测度公式计算:

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\max_j \{a_{ij}\}} \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (13)$$

对越小越好的指标采用下限效果测度公式计算:

$$r_{ij} = \frac{\min_j \{a_{ij}\}}{a_{ij}} \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (14)$$

由此得到测度矩阵:

$$R = (r_{ij})_{6 \times 3} = \begin{bmatrix} 1 & 0.903 & 0.659 \\ 1 & 0.761 & 0.74 \\ 0.8 & 0.8 & 1 \\ 1 & 0.875 & 0.698 \\ 0.889 & 0.867 & 1 \\ 0.889 & 0.867 & 1 \end{bmatrix}$$

为反映“安全第一,预防为主”这一安全生产方针 and 环境保护这一基本国策的不可动摇地位,视安全性和环境影响两个指标为特殊指标,其他指标为普通指标,并将各指标重新排列如下: a'_1 为初投资、 a'_2 为年运行费、 a'_3 为技术先进性、 a'_4 为操作管理便利性、 a'_5 为安全性、 a'_6 为环境影响。那么

$$(v_i)_6 = (0.28, 0.30, 0.17, 0.10, 0.10, 0.05)$$

$$(r'_{ij})_{6 \times 3} = \begin{bmatrix} 1 & 0.903 & 0.659 \\ 1 & 0.761 & 0.74 \\ 0.889 & 0.867 & 1 \\ 0.889 & 0.867 & 1 \\ 0.8 & 0.8 & 1 \\ 1 & 0.875 & 0.698 \end{bmatrix}$$

对于普通指标而言,根据式(10)得 $k=0.910$;根据式(9)得 $f_{11}=0.390\ 3, f_{12}=0.352\ 5, f_{13}=0.257\ 2$;根据式(8)得各指标的熵 $H_1=0.986\ 5, H_2=0.990\ 9, H_3=H_4=0.997\ 9$ 。然后,根据式(11)得各指标的熵权 $\omega'_1=0.504, \omega'_2=0.340, \omega'_3=\omega'_4=0.078$ 。此时,就指标数值而言,指标 a'_1 能提供有利于方案评选的信息最多,指标 a'_2 次之,指标 a'_3 和 a'_4 最差。利用以上计算结果,根据式(12)得到调整后的指标权重 $w'_1=0.534, w'_2=0.386, w'_3=0.050, w'_4=0.030$,进而根据式(4)得到相应于普通指标的方案目标效果测度 $u_{11}=0.991, u_{21}=0.845, u_{31}=0.718$ 。

对于指标 a'_5 和 a'_6 而言,根据式(3)得到 $w'_5=1.33, w'_6=0.67$;进而根据式(5)得到相应于特殊指标的方案目标效果

测度 $u_{12}=0.844, u_{22}=0.790, u_{32}=0.789$ 。

最后,根据式(6)得到各方案的综合目标效果测度 $u'_1=0.915, u'_2=0.817, u'_3=0.753$ 。可见方案 1 最优,方案 2 次之,方案 3 最差。这与工程实际相符^[5],也与文献[6]的排序一致。从以上计算可以看出,加乘模型更加完整地反映了方案评选的实际操作过程。

3 结语

本文将评价指标划分为普通指标和特殊指标,并建立了空调冷热源方案评选的加乘模型。该模型对类似优选问题也有一定参考价值。

在方案评选过程中,指标权重起着至关重要的作用。文中用熵权度量了普通指标在数值意义下的重要程度,并据此调整了普通指标的事先权重,这不仅体现了普通指标的可补偿特征,也从一定程度上消除了专家对方案评选的主观影响。

本文对加乘模型进行了详细的数学描述,便于计算机的程序运算,也给方案评选决策支持系统的智能构建打下了基础。

参考文献

- [1] 王梅杰,狄卫民. 空调冷热源方案优选方法研究[J]. 暖通空调, 2004, 34(10):73-75
- [2] 岳超源. 决策理论与方法[M]. 北京:科学出版社, 2003
- [3] 王梅杰,狄卫民,周国峰. 空调冷热源方案评选的智能化改进[J]. 金属矿山, 2004, (8):66-68
- [4] 邱苑华. 管理决策与应用熵学[M]. 北京:机械工业出版社, 2002
- [5] 沈红. 空调冷热源经济技术比较[J]. 建筑热能通风空调, 1999, 18(2):50-52
- [6] 沈红. 灰色物元分析法在空调冷热源方案评选中的应用[J]. 暖通空调, 2001, 31(1):32-34

· 书讯 ·

《板式换热器及换热装置技术应用手册》

板式换热器和板式换热机组是工业传热过程中必不可少的设备,同时也是空调、供热中的重要设备;在可持续发展的国策下,它还是余热、太阳能、海水、污水、地热等利用中的首要设备。随着技术的进步以及节约原材料和能源的紧迫性,近几年来出现了一系列新型的板式换热器,如可拆式、全焊式、钎焊式、板壳式等,并从板式换热器发展到板式换热装置,如蒸发装置、热泵装置、制冷装置、热力机组、催化重整装置等,产品的适用范围越来越广,需要量越来越多,生产量也越来越高。但目前尚没有较完善的新型板式换热器和新型板式换热装置的结构、原理、特性、布置、选型、安装和运行等技术和应用手册。

程宝华、李先瑞主编的这本手册可满足市场要求,并可供各工业部门、能源部门、建筑部门中从事热能工作的工程技术人员参考。

书号:13365,定价:58 元。

(姚荣华)