

# 基于层次分析法的图书馆空调冷热源方案优选

蒋 华

(河海大学设计院,江苏南京 210098)

摘要:从空调冷热源方案选择实际出发,建立了通用的 AHP 选优评价模型,并按初投资、运行费用、维护管理、环境影响、消防安全等指标对适合某图书馆空调工程的 4 种空调冷热源方案进行了定量分析,选出了最优方案.应用结果表明,AHP 法为空调冷热源方案选择提供了一种有效的定量分析方法,可辅助工程师对备选方案进行综合分析、评比并作出决策,避免了决策的主观片面性,增强了决策的客观性、科学性.

关键词:层次分析法;空调冷热源;方案优选

中图分类号:TU831 文献标识码:A 文章编号:1000-1980(2005)01-0108-03

近年来,高校基建规模和水平不断提高,大批新建的图书馆、教学楼、实验楼都配置了集中空调系统.一方面,可为学生、教师工作学习营造一个良好的舒适环境;另一方面,由此带来的高投入、高运行费用等问题也引起业主方、设计方的高度关注.因此,根据学校特点和实际条件,使集中空调系统更经济、更实用,成为设计人员需要认真研究的课题.另外,空调系统的冷热源作为一个空调系统的核心,其投资费、运行费、能耗及管理在整个系统中占有较大比重,其选择的优劣与否也就成为重中之重了.

通常,冷热源设备选型依据计算的空调冷热负荷,对各备选方案的制冷量、制热量、COP 值、热效率等几个主要技术经济指标做一些定性比较,并以此作为决策依据.实际上,空调系统冷热源的选择是一个由技术条件、经济条件、环境影响、社会效益等众多因素构成的多属性决策问题.近年来,许多学者致力于这方面的研究并提出了不同的评选方法,如多指标决策法<sup>[1,2]</sup>、模糊优选法<sup>[3]</sup>、灰色物元分析法<sup>[4]</sup>等.本文应用层次分析法(AHP)进行图书馆空调冷热源方案的决策评选.

## 1 AHP 优选模型

层次分析法<sup>[5]</sup>(Analytic Hierarchy Process,简称 AHP 法)是一种定性分析与定量分析相结合的多目标决策分析方法.它将定性和定量指标统一在一个模型中,既能进行定量分析,又能进行定性的功能评价.AHP 法根据研究问题的性质和所要达到的总目标,将问题分解为不同的组成因素,并按照因素间的相互关联影响和隶属关系将其按不同层次聚集组合,形成一个多层次的层次结构模型,最终把系统分析归结为最底层(方案层)相对于最高层(决策目标)的相对重要性权值的确定或相对优劣次序的排列问题.

### 1.1 层次结构图的建立

先对研究问题所涉及的因素进行分类,然后构造一个各因素之间相互联结的层次结构模型.如图 1 所示,第 1 层为目标层,第 2 层为判断层(衡量目标能否实现的标准层),第 3 层为方案层.

### 1.2 判断矩阵

同一层次各要素两两对比的定量评价可构成一个判断矩阵.设判断矩阵为  $A = (a_{ij})$  ( $i, j = 1, 2, \dots, n$ ).其中  $a_{ij}$  表示元素  $i$  与元素  $j$  相比的重要程度之比,且有  $a_{ij} = 1/a_{ji}$ ,  $a_{ii} = 1$ ,即  $A$  为反对称矩阵.

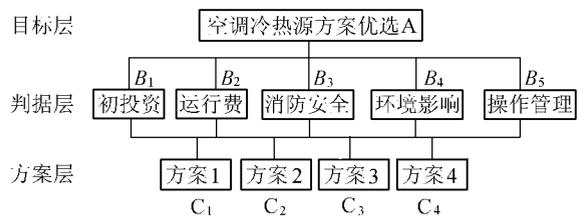


图 1 层次结构

Fig.1 Hierarchy structure

定量评价值一般用 1 3 5 7 9 分别表示元素  $i$  与元素  $j$  同等重要、比较重要、重要、很重要、极重要. 若一个因素没有另一个因素重要, 则其赋值可取为上述 1~9 的倒数. 如果有些问题的分级有较高的精度要求, 则可用 1~9 之间的任意实数进行内插. 本文各方案初投资和运行费均以实际计算值为依据内插得到.

### 1.3 相对重要度计算

由于  $A$  为反对称矩阵, 一定存在一个向量  $X$ , 使得

$$AX = \lambda X \tag{1}$$

式中:  $\lambda$ —— $A$  的特征值;  $X$ ——特征向量. 将最大特征值  $\lambda_{\max}$  所对应的特征向量归一化后即即为权向量, 记作  $\omega$ . 其分量  $\omega_i$  表示各要素的相对重要度, 即权重. 因该方法计算较复杂, 且矩阵  $A$  本身是近似估算值, 故没有必要进行精确计算, 本文采用乘积方根法计算特征向量的近似值.

### 1.4 一致性检验

判断矩阵的一致性可用随机一致性指标来检验. 一致性指标计算公式为

$$C_R = \frac{C_I}{R_I} \quad C_I = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \tag{2}$$

式中:  $C_R$ ——随机一致性比率;  $C_I$ ——一致性指标;  $R_I$ ——平均随机一致性指标;  $n$ ——判断矩阵  $A$  的维数. 表 1 给出了 500 个样本的  $R_I$  平均值<sup>[6]</sup>.

当  $C_R \leq 0.1$  时, 认为判断矩阵具有满意的一致性, 可以接受; 当  $C_R > 0.1$  时, 需重新赋值、修正, 直到检验通过为止.

### 1.5 综合评价指标

建立各备选方案关于评价指标的定量评价权重, 得到定量评价矩阵  $B$ :

$$B = (b_{ij}) \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \tag{3}$$

综合评价指标由下式求出:

$$V = B\omega \tag{4}$$

式中  $V$  为综合评价指标向量, 其最大分量  $V_{\max}$  所对应的方案即为最优方案.

## 2 实 例

河海大学江宁校区图书馆建筑面积 18 180 m<sup>2</sup>, 空调面积 15 200 m<sup>2</sup>, 层数 5. 空调夏季设计冷负荷 2 760 kW, 冬季设计热负荷 1 940 kW.

该项目所在地区无城市热网可利用, 据分析, 适合该工程使用的空调冷热源方案有 4 种:  $C_1$  水冷式冷水机组 + 燃油气热水锅炉;  $C_2$  空气源热泵;  $C_3$  水冷式冷水机组 + 空气源热泵(冷水机夏季制冷, 热泵冬季供热);  $C_4$  直燃型溴化锂吸收式冷热水机组. 具体数据见表 2. 从经济性、安全性、先进性三方面着手, 将初投资、年经营费、安全性、环境影响、操作管理 5 项指标作为方案评价依据. 表 2 中:  $B_1, B_2$  为定量型指标, 可由计算确定;  $B_3, B_4, B_5$  及评价指标偏好程度为定性指标, 用 1~9 标度的方法打分确定. 根据结构图 1, 建立判断矩阵, 按照前述方法保证其足够满意的一致性, 用方根法计算排序权值. 计算结果为:  $B$  层各元素相对于  $A$  的层次单排序为  $B = (0.325, 0.210, 0.210, 0.128, 0.126)$ ,  $C$  层各元素相对于  $B$  的层次单排序为

$$\omega = \begin{bmatrix} 0.305 & 0.267 & 0.190 & 0.238 \\ 0.241 & 0.232 & 0.287 & 0.241 \\ 0.050 & 0.450 & 0.450 & 0.050 \\ 0.506 & 0.072 & 0.169 & 0.253 \\ 0.105 & 0.526 & 0.316 & 0.053 \end{bmatrix}$$

层次总排序为  $V = B\omega$ , 结果见表 3.

由表 3 可见, 本项目各空调冷热源方案按优劣排序为  $C_2 > C_3 > C_1 > C_4$  ( $>$  表示优于). 所以, 最终业主选择了方案 2, 即用 4 台制冷量 700 kW 风冷热泵机组作为图书馆集中空调系统的冷热源.

表 1 随机一致性指标的取值

Table 1 Data of stochastic identical indexes

矩阵维数 $n$	1	2	3	4	5	6
平均随机一致性指标 $R_I$	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24

表2 冷热源方案指标

Table 2 Indexes of cooling and heating source schemes

方案	初投资 $B_1$ /万元	年经营费 $B_2$ (万元·a <sup>-1</sup> )	消防、安全性 $B_3$	环境影响 $B_4$	操作管理、 运行可靠性 $B_5$
C <sub>1</sub> 离心式冷水机 1400 kW × 2 + 燃气热水锅炉 1050 kW × 2	280	58.99	需一级消防	较大	一般
C <sub>2</sub> 风冷热泵 700 kW × 4	320	61.50	无特殊要求	小	很好
C <sub>3</sub> 离心式冷水机 1400 kW × 2 + 风冷热泵 500 kW × 4	450	49.06	无特殊要求	较小	好
C <sub>4</sub> 直燃型溴化锂冷热水机组 1450 kW × 2	360	59.00	需一级消防	大	稍差
评价指标重视程度	很重视	重视	重视	较重视	较重视

注(a)初投资  $B_1$  指设备费、土建费、安装费、变配电设施费、燃气增容设施费之和。(b)年经营费  $B_2$  指固定费与运行费之和。固定费包括设备折旧费、占用空间费、利息和税金等。运行费包括能耗费、维护费和人工费等。空调系统运行时间,冬季2.5个月,夏季2.5个月,每天运行10h,电价为0.55元/(kW·h),天然气价为2.20元/m<sup>3</sup>,平均负荷率取0.85。(c)安全性  $B_3$  指锅炉、燃油(气)设施对安全、消防的影响。(d)环境影响  $B_4$  指制冷剂破坏臭氧潜值 ODP,能耗中的燃烧产物如烟尘、CO<sub>2</sub> 和 SO<sub>2</sub> 的排放量以及噪声、振动对环境的影响<sup>[7]</sup>。(e)操作管理  $B_5$  指操作管理的简易程度和运行可靠程度。

### 3 结 论

a. AHP 法思路简洁,使用灵活,为空调冷热源方案选择提供了一种有效的定量分析方法,可辅助工程师对备选方案进行综合分析、评比并作出决策,避免了决策的主观片面性,增强了决策的客观性、科学性。

b. 对于不同的工程项目,可备选的空调冷热源方案是不同的,采用的评价标准也可能不一样,加上评价过程中评价标准的权重取值的不同,将会影响计算出的方案排序,因此,必须建立权威性的工程信息库,并采用专家系统方法使之与层次分析法方案评价模型有机地结合起来,开发出一个实用的智能决策系统。这样的系统将会有更好的市场应用前景。

#### 参考文献:

- [1] 裴清清,张定军,李冰. 空调冷热源方案的多指标决策技术及应用[J]. 湖南大学学报, 1997, 24(2): 75—79.
- [2] 李敏霞,马一太. 供热空调系统方案的多目标综合评价研究[J]. 天津大学学报, 2003, 36(3): 311—315.
- [3] 高立新,陆亚俊. 空调冷热源方案的模糊选优[J]. 建筑热能通风空调, 2001, 6(4): 4—7.
- [4] 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.
- [5] SAATY T L. The analytic hierarchy process[M]. New York: McGraw-Hill, 1980. 1—168.
- [6] 赵焕臣. 层次分析法[M]. 北京: 科学出版社, 1986. 45—46.
- [7] 陈立萍,王路威,魏玲. 空调冷热源能耗及其环境影响评价分析[J]. 南京工业大学学报, 2004, 26(3): 85—88.

## AHP-based optimal selection of cooling/heating sources for library air-conditioning system

JIANG Hua

(Design Institute of Hohai Univ., Nanjing 210098, China)

**Abstract:** According to the practical requirement in determination of cooling/heating sources for air-conditioning, the Analytic Hierarchy Process (AHP) was introduced into the design process and a universal AHP analysis model was established. Four typical schemes suitable for determination of cooling/heating sources for a library air-conditioning system were quantitatively analyzed from the aspects of initial investment, operational cost, system maintenance and management, environmental effect, fire control, etc., and an optimal scheme was determined. Application shows that the AHP model provides an effective method for quantitative analysis and assessment of schemes for the selection of the optimal scheme.

**Key words:** Analytic Hierarchy Process (AHP); cooling/heating source of air-conditioning; optimal selection of schemes