

文章编号:1673-0062(2012)04-0093-04

空调冷热源方案选择的理论分析及综合评价

黎 韧¹, 谢吉平², 陈 刚²

(1. 南华大学附属第一医院, 湖南 衡阳 421001; 2. 南华大学 城市建设学院, 湖南 衡阳 421001)

摘 要: 本文运用模糊数学理论中的模糊综合评价法, 对影响空调冷热源系统确定的各因素进行定量分析. 同时通过对具体实例中空调冷热源系统方案的综合评价, 为空调冷热源系统的选择提供一种合理可行的方法.

关键词: 空调冷热源系统; 模糊数学理论; 模糊综合评价法

中图分类号: TU831.4 **文献标识码:** B

Theoretical Analysis and Comprehensive Evaluation of Air Conditioning Cold/Heat Source

LI Ren¹, XIE Ji-ping², CHEN Gang²

(1. The First Affiliated Hospital, University of South China, Hengyang, Hunan 421001, China;
2. School of Urban Construction, University of South China, Hengyang, Hunan 421001, China)

Abstract: This article use fuzzy comprehensive evaluation to quantitatively analyse each factor which affects the selection of air conditioning cold/heat source systems. Meanwhile, it offers a reasonable and feasible method to air conditioning cold/heat source system selection through a concrete example.

key words: air conditioning cold/heat source systems; theoretical analysis; comprehensive evaluation

中央空调由于具备舒适性好, 造价低, 后期维护方便、故障少等优点, 使其在商用空调项目中越来越受到青睐. 但同时由于中央空调行业存在设计、施工门槛低, 国家政策法规不完善等问题, 使目前空调行业竞争过于价格化, 企业过于看重工程造价, 而没有根据实际情况综合考虑空调冷热源系统方案的优劣, 这是目前很多空调项目冷热源系统选择不合理的主要原因, 也是造成部分地区空调行业局面混乱

及空调节能不能落到实处的一个重要原因之一.

由于影响空调冷热源系统选择的因素很多, 所以很难对一个空调冷热源系统进行合理的评价, 目前主要是依靠行业专家对设计方案进行评审, 但这种方式也具有一定的局限性. 首先专家评价的准确性与专家个人知识结构、实践经验有关; 其次是带有很强的主观性; 而最主要的是专家评审过程长、费用高, 在中、小型项目中很难推广. 而每年我国的

收稿日期: 2012-11-28

作者简介: 黎韧(1969-), 男, 湖南长沙人, 南华大学附属第一医院工程师. 主要研究方向: 医院中央空调管理.

中小型空调项目所占比例非常大,因此对中央空调冷热源系统设计一套合理的评价方法,对降低空调系统能耗和规范空调行业具有相当重要的意义。

1 模糊数学理论

1.1 模糊数学理论

模糊数学理论由美国著名计算机与控制专家查德(L. A. Zadeh)教授于1965年提出^[1]。模糊数学是处理和研究模糊性现象的一种数学理论和方法,运用模糊数学理论可以对日常人们利用概念进行评价、判断、决策、推理和控制等定性的过程将其转化为定量过程。本文正是利用该方法对影响空调冷热源系统选择的各定性因素进行定量处理,同时运用“模糊决策”分析方法中的模糊综合评价决策法^[2]对模糊环境或者模糊系统中所研究的对象进行排序,按照一定的模糊限制条件从决策域中选择最佳方案。

1.2 模糊综合评价方法的步骤

模糊综合评价法是应用模糊关系合成的原理,用多个因素(指标)对被评价事物隶属等级状况进行综合性评判的一种方法,其具体的步骤为:

1) 确定被评价对象的因素论域 $U, U = (u_1, u_2, u_3, \dots, u_n)$;

2) 确定评语等级论域 $V, V = (v_1, v_2, v_3, \dots, v_n)$ 。通常评语等级 $V = (\text{很高}, \text{高}, \text{较高}, \dots, \text{较低}, \text{低}, \text{很低})$;

3) 进行单因素评判,建立模糊关系矩阵 R

$$R = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{pmatrix} \quad \text{其中 } 0 \leq r_{ij} \leq 1$$

其中 r_{ij} 为 U 中因素 u_i 对于 V 中等级 v_j 的隶属关系;

4) 确定评判因素权向量 $A = (a_1, a_2, a_3, \dots, a_n)$, A 是 U 中各因素对被评事物的隶属关系,它取决于人们进行模糊综合评判时的着眼点,即根据评判时各因素的重要性分配权重;

5) 选择评价的合成算子 $B = (b_1, b_2, b_3, \dots, b_m)$, 将 A 与 R 合成得到

$$B = A \times R = (a_1, a_2, \dots, a_n) \times \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{pmatrix}$$

$b_j = (a_1 \cdot r_{1j}) + (a_2 \cdot r_{2j}) + \dots + (a_n \cdot r_{nj})$, 其中 $j = 1, 2, \dots, m$

6) 根据模糊限制条件选出 b_j 中最优结果。

2 应用模糊数学理论选择空调冷热源实例分析

本文以一个实际工程的空调冷热源方案选择为例,运用模糊数学理论对该项目空调冷热源方案进行最终确定。

2.1 工程概况

该实例为某美容医疗机构中央空调项目,该项目根据甲方要求只对办公区域和住院部设计空调。总建筑面积为 5 300 m², 其中空调使用面积约为 3 800 m², 空调总冷负荷为 490 kW, 热负荷为 300 kW。根据该项目的冷热负荷量,可采用三种冷热源方案,具体方案见表 1。

表 1 冷热源方案比较

Table 1 Comparison of heat and cold sources scheme

方 案	方案一	方案二	方案三
冷热源系统形式	水源热泵	风冷热泵模块 + 电辅助加热器	水冷螺杆机组 + 锅炉
总制冷量/制热量/kW	515/576	520/552	485
主机台数/台	1	4	1
机房设备制冷总功率/kW	109	260	130
机房设备制热总功率/kW	134	287	
备 注			冬季选择 1.256 × 10 ⁹ J 锅炉供暖

2.2 空调冷热源系统评价指标的选择

影响空调冷热源系统选择的因素很多,既有定量因素也有定性因素,而评价指标选择的完整性和合理性是评价空调冷热源系统好坏的前提。本文主

要从初投资费用 u_1 、系统年运行费用 u_2 、冷热源系统运行寿命 u_3 、冷热源系统年运行维护费用 u_4 、生命周期费用 u_5 、系统运行稳定性 u_6 、施工条件与工期 u_7 、环保节能性 u_8 、系统可行性 u_9 等 9 个方面对

冷热源系统进行综合评价. 其中 u_1, u_2, u_3, u_4 为定量因素, u_5, u_6, u_7, u_8, u_9 为定性因素.

2.3 定量评价指标的确定

1) 空调冷热源系统初投资费用 u_1 的确定

本文中央空调冷热源系统初投资费用只取冷热源系统部分.

2) 空调冷热源系统年运行费用 u_2 的确定

空调系统年运行费用按项目所在城市实际制冷、采暖期, 电、煤气价格进行计算, 本文空凋制冷、采暖期均设计为 120 d, 每天按 8 h 计算, 电价按商业用电 1.2 元/度, 天然气按 2.5 元/ m^3 计算.

3) 空调冷热源系统运行寿命 u_3 、运行维护费

用 u_4 的确定

空调冷热源系统运行寿命、运行维护费用按照手册^[3-4]推荐值, 并结合设备厂家提供的资料进行确定. 其中设备年运行维护费用按空调系统使用年限为 12 a 的年平均费用值计算(制冷压缩机运行 700 ~ 1 000 h 进行小修, 2 500 ~ 3 000 h 经行中修).

4) 生命周期费用(LCC) u_5 的确定^[5].

LCC 是对项目初投资及年运行费用情况的反应, 是综合考虑初投资与运行费用的一个重要经济指标.

以上各定量评价指标值见表 2.

表 2 三种方案的定量评价指标值

Table 2 Quantitative evaluation index of three scheme

定量评价指标	方案一	方案二	方案三
主机系统初投资费用 u_1 /万元	68	45.1	36.5
空调系统年运行费用 u_2 /万元	28	63	23
主机运行寿命 u_3 /a	17	15	20
年运行维护费用 u_4 /万元	1.5	0.8	1.0
生命周期费用(LCC) u_5	232.5	401.0	165.9

2.4 定性评价指标的确定

1) 系统运行稳定性 u_6 的确定

水源热泵和风冷模块机组分别利用地下水、空气中的“免费”能源, 而水冷螺杆机组 + 锅炉系统夏季靠冷却塔排出凝凝热, 冬季则靠燃气供暖. 地下水水温在一定深度以下常年保持稳定, 而大气的温度和相对湿度随季节变化较大, 这使风冷模块和水冷螺杆机组性能稳定性不如水源热泵. 在冬季供暖期, 锅炉供暖较风冷模块要稳定. 因此各方案空调冷热源系统的稳定性评价为方案一“较好”, 方案二为“较差”, 方案三为“一般”.

2) 施工条件与工期 u_7 的确定

考虑实际施工条件与工期的不确定因素较多, 本文对施工工期按定性因素综合考虑, 由于水源热泵需要打井, 因此难度较大, 水冷螺杆 + 锅炉比风冷热泵模块要多安装冷却塔与锅炉, 因此各方案主机系统施工条件与工期评价为方案一“较长”, 方案二“较短”, 方案三“一般”.

3) 系统环保节能性 u_8 的确定

水源热泵系统的吸、放热均在地下, 从长期使用来看将对地下环境造成一定热污染, 而风冷热泵模块从大气中吸热放热则会造成环境局部的冷、热污染, 水冷螺杆 + 锅炉机组夏季向大气排放

余热、余湿, 冬季向大气排放气体污染物. 根据环境评价指标综合考虑得到各方案评价结果为: 方案一为“较好”, 方案二为“一般”, 方案三“较差”.

4) 系统可行性 u_9 的确定

可行性评价: 主要从能否满足空调冷热源运行的基本条件考虑, 对于方案一主要考虑工程所在地是否具有充足的地下水源和当地政策是否允许开发利用地下水源, 本项目所在地位于市中心, 虽然地下水相对较丰富, 但相关部门对地下水开发利用管理较严, 申请利用难度大; 方案二风冷热泵模块机组主要考虑主机常年运行的气候条件, 夏季室外气温太高或者冬季室外气温太低都不利于主机运行, 且要有空旷的空间, 使气流流通顺畅, 这些条件本项目基本满足; 方案三水冷螺杆机组 + 锅炉系统需要设置独立的机房, 但本项目地下室没有专用空调机房, 主机只能摆放在裙房顶部, 但存在不美观、施工不方便的问题. 因此可行性指标评价为, 水源热泵评价为“较差”; 风冷热泵模块机组评价为“较好”, 方案三评价为“一般”.

2.5 定量隶属度的确定

取各评价指标值 v_{ij} 的最大值 $\max(v_{ij})$ 和最小值 $\min(v_{ij})$ 作为本文评判目标隶属度^[2]的上下界限, 则各隶属度计算公式如下:

对于数值越大越优的目标:

$$r_{ij} = \frac{v_{ij}}{\max(v_{ij})} \quad (1)$$

对于数值越小越优的目标:

$$r_{ij} = 1 - \frac{\min(v_{ij})}{v_{ij}} \quad (2)$$

式中, r_{ij} ——空调冷热源系统方案 j 的第 i 个评价目标的隶属度值。

2.6 定性隶属度的确定

对于不能用定量隶属度函数确定的定性评价指标,根据2.4节各定性指标的评价,并结合专家评价法确定各定性指标的隶属度值,其中各方案之间的优劣,对比本文选用的五个等级进行描述,分别是:“好”、“较好”、“一般”、“较差”和“差”,这些指标的定量隶属度评价区间为 $[0, 1]$ 。专家评价法是指 N 个专家根据各自对各定性指标的认识进行定量评价,最后取算术平均值,其计算公式为:

$$r_{ij} = \frac{\sum x_{kij}}{n} \quad (3)$$

式中, x_{kij} ——第 k 位专家对第 j 个方案第 i 个定性评价指标作出的定量评价。

其中 r_{ij} 越大表示方案越优。

根据定量、定性隶属度评价原则,得到各方案所对应的不同影响因素隶属度值见表3。

表3 三种方案不同影响因素隶属度值
Table 3 Membership degree of different influencing factors of three scheme

定量评价指标	方案一	方案二	方案三
主机系统初投资费用 u_1 (万元)	0	0.34	0.46
空调系统年运行费用 u_2 (万元)	0.56	0	0.63
主机运行寿命 u_3 (年)	0.85	0.75	1
年运行维护费用 u_4 (万元)	0	0.47	0.33
生命周期费用(LCC) $u_5 a_5$	0.42	0	0.59
系统运行稳定性 u_6	0.84	0.33	0.62
施工条件与工期 u_7	0.2	0.78	0.6
主机环保节能性与可行性 u_8	0.84	0.62	0.35
空调主机系统可行性 u_9	0.22	0.8	0.58

2.7 权重向量 A 的确定

权重向量 $A^{[2]}$ 的确定原则采用专家与建设方

评价法,其计算值按公式(3)计算,根据公式(3)统计计算得到权重向量 A 的值为:

$$A = (a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8, a_9)$$

$$A = (0.3, 0.2, 0.1, 0.05, 0.05, 0.05, 0.1, 0.05, 0.1)$$

2.8 评价结果

设评价合成算子为 B , 模糊关系矩阵

$$R = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0.34 & 0.46 \\ 0.56 & 0 & 0.63 \\ 0.85 & 0.75 & 1 \\ 0 & 0.47 & 0.33 \\ 0.42 & 0 & 0.59 \\ 0.84 & 0.33 & 0.62 \\ 0.2 & 0.78 & 0.6 \\ 0.84 & 0.62 & 0.35 \\ 0.22 & 0.8 & 0.58 \end{bmatrix},$$

则 $B = [b_1, b_2, b_3] = A * R = [a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8, a_9, a_{10}] \times$

$$\begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nm} \end{pmatrix} = [0.344, 0.406, 0.57].$$

从评价结果可以看到 $b_3 > b_2 > b_1$, 从而可以直观的得到方案三优于方案二、方案二优于方案一。因此建议建设方选择方案三作为最终方案。

3 结论

用模糊数学理论对空调冷热源系统进行评价,不仅使评价结果更加直观,而且能充分体现各因素对系统的影响程度。本文通过具体实例分析,为空调冷热源系统设计选型提供一种合理可行的方法。

参考文献:

- [1] Zadeh. Fuzzy Sets[J]. Information and Control, 1965, 8: 338-353.
- [2] 谢季坚. 模糊数学及其应用[M]. 2版. 武汉:华中理工大学出版社, 2007.
- [3] 马最良, 姚杨. 民用设计手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.
- [4] 陆耀庆. 实用供热空调设计手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.
- [5] 李亚楠. 基于全寿命周期的建筑可持续性设计技术系统以及方案优选[D]. 武汉: 华中科技大学, 2005.