

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2013.05.019

灰关联分析法优选空调冷热源系统在 Excel 中的实现

胡海华^{1,2}, 王孟孟^{1,2}, 潘镇镇¹, 赵宝月¹

(1. 湖南工业大学 土木工程学院, 湖南 株洲 412007; 2. 湖南工业大学 协同创新中心, 湖南 株洲 412007)

摘要: 以灰色系统理论为依据、Excel 软件为实现工具, 提出利用 Excel 软件实现灰关联分析法优选空调冷热源系统。介绍了灰关联分析法原理, 以及在 Excel 软件中需要使用的函数; 通过一个工程实例, 详细说明了在 Excel 软件中, 利用灰关联分析法对 5 种冷热源系统的待选方案进行优选的过程。实例结果表明, 5 种冷热源系统的待选方案与参考方案的关联度大小排序为 $R(1) > R(3) > R(2) > R(4) > R(5)$, 该计算结果与实际吻合, 表明此方法科学、简单、实用, 可供不同层次的暖通工程技术人员参考使用。

关键词: 灰关联分析法; Excel; 优选; 空调冷热源系统

中图分类号: TU831

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2014)05-0093-05

The Implementation of Gray Relational Analysis Algorithm for Optimum Selection of Air Conditioning Heating and Cooling Source System in Excel

Hu Haihua^{1,2}, Wang Mengmeng^{1,2}, Pan Zhenzhen¹, Zhao Baoyue¹

(1. School of Civil Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China;

2. Collaborative Innovation Center, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract: With gray system theory as the basis and the Excel software as the implementation tool, put forward a Excel algorithm based on gray relational analysis for the optimum selection of air conditioning heating and cooling source system. Introduced the principle of gray correlation analysis method and the function needed to use in Excel software. Through an engineering example, described the process of using gray relational analysis method to select the optimal plan from five air conditioning heating and cooling source systems by Excel software. The results show that, the correlation degree sorting between the schemes of the five heating and cold source systems and the reference scheme is $R(1) > R(3) > R(2) > R(4) > R(5)$ and the calculated results agree with the actual, which indicates that the method is scientific, simple and practical. Provides reference for different levels of HVAC engineering.

Keywords: gray relational analysis; Excel; optimum selection; air conditioning heating and cooling system

0 引言

随着暖通行业的快速发展, 暖通空调系统的应用范围越来越广, 其设计质量与工作效率也亟待提

高。因此, 如何使暖通设计方案在保证技术质量和安全的情况下实现最优经济效益、社会效益及环境效益是暖通从业人员所面对的重要问题。其中, 选择何种空调冷热源系统直接关系到设计方案的运行

收稿日期: 2014-07-11

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划基金资助项目(2011BAJ03B07)

作者简介: 胡海华(1991-), 男, 江西分宜人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向为建筑设备节能技术,

E-mail: huhaihua2014@163.com

能耗、设备寿命周期、初投资资金及社会效益。因此,在空调系统设计方案中,冷热源系统选用的合理与否对于设计方案的优劣至关重要^[1-2]。

目前,系统优化决策方法有很多。既有传统的线性规划法、非线性规划法、层次分析法、灰色物元分析法和模糊综合评判法,又有如遗传算法、蚁群算法和鱼群算法等现代智能方法。传统的方法具有坚实的理论基础,但是确定隶属度困难,求解难度较大,应用受到一定的限制。随着计算机技术的发展,现代智能方法虽然能在一定程度上解决一些实际问题,相关研究人员也在不断对其进行改进与完善,但是其理论依据不够,理解困难,不适合一般工程技术人员使用。因此,针对空调冷热源系统优选问题,本文依据灰色系统理论和 Excel 软件较强大的计算功能^[3-8],提出了利用 Excel 软件实现灰关联分析法优选空调冷热源系统。该方法可供工程技术人员参考。

1 灰关联分析法和 Excel 软件介绍

1.1 灰关联分析法

空调冷热源系统的优选可认为是一个单目标多因素的灰色优选问题,需要将众多影响优选的 β 个因素合理地综合起来,找到一个单一的综合评价指标来确定待选方案中的最佳方案。

灰关联分析法作为衡量因素间关联程度的一种有效方法,将其引入到优选空调冷热源系统中。其主要思路是:首先,根据工程实际情况选出 α 个待选方案,并确定每种待选方案的个主要技术经济评价指标,以此构造出待选方案数据序列;其次,从待选方案数据序列中分别选出每个技术经济评价指标的最优值,以此组合成参考方案数据序列;然后,应用灰关联分析法的数学模型将各待选方案同参考方案进行对比量化分析,计算出与参考方案的关联度;最后,将计算得出的关联度作为选择最优方案的单一综合评价指标,若某一待选方案与参考方案关联度越大,则说明该方案与参考方案逼近程度越大,即该方案在所有方案中最优。

灰关联分析法优选空调冷热源系统的具体步骤如下。

1) 确定待选方案与参考方案数据序列

将空调冷热源系统待选方案 $A_i(k)$ ($i=1, 2, \dots, \alpha$; $k=1, 2, \dots, \beta$) 作为比较方案数据序列,从各待选方案组成的数据序列中选出各项指标的最优值组合成参考方案数据序列 $A_0(k)$,即

$$A_i(k) = \{A_i(1), A_i(2), \dots, A_i(\beta)\}, \quad (1)$$

$$A_0(k) = \{A_0(1), A_0(2), \dots, A_0(\beta)\}。 \quad (2)$$

2) 数据的无量纲化处理

运用灰关联分析法计算综合评价指标,需要将计算原始参数的量纲作单一化处理。由于影响优选空调冷热源系统的几个因素指标的量纲各异,必须对各项指标值进行无量纲化处理。每个因素指标可按式(3)进行无量纲化处理。

$$X_i(k) = A_i(k) / aver(k), \quad (3)$$

$$aver(k) = \frac{1}{\alpha + 1} \sum_{i=0}^{\alpha} A_i(k), \quad (4)$$

式中: $X_i(k)$ 表示各项因素指标无量纲化处理后的数据序列;

$aver(k)$ 表示各项因素指标均值化处理后的数据序列。

3) 关联系数计算

依据文献[4]中关于灰关联空间的相关定理,可按式(5)计算出反映待选方案与参考方案接近程度的关联系数 $\zeta_{0i}(k)$,即

$$\zeta_{0i}(k) = \frac{\Delta_{\min} + \delta \Delta_{\max}}{\Delta_i(k) + \delta \Delta_{\max}}, \quad (5)$$

式中: $\Delta_i(k)$ 为因素指标 $A_i(k)$ 和 $A_0(k)$ 的差的绝对值,即 $\Delta_i(k) = |A_i(k) - A_0(k)|$;

Δ_{\min} , Δ_{\max} 分别为各项因素指标的差的绝对值中的最小值和最大值;

δ 为分辨系数,一般取0.5。

4) 关联度计算

由于步骤3)得到的关联系数数据比较分散,不易比较,有必要对其进行加权求取关联度 $R(i)$,其将作为最终单一综合评价指标。关联度 $R(i)$ 为

$$R(i) = \frac{1}{\beta} \sum_{k=1}^{\beta} \zeta_{0i}(k)。 \quad (6)$$

5) 关联度排序

按照步骤4),得到各待选方案与参考方案的关联度,再根据关联度的大小进行排序,即可找出最优指标值所对应的空调冷热源系统方案。

1.2 Excel 软件中的函数应用

Excel 软件的计算功能较为强大,而且应用简单、层次较低,是一种较为大众化的应用软件。基于灰关联分析法的 Excel 算法主要是利用 Excel 软件中的以下内置函数进行具体计算公式的组合编辑。1) SUM() 函数的功能是,返回某一单元格区域中数字、逻辑

值及数字的文本表达式之和; 2) MIN()函数的功能是, 返回给定参数表中的最小值; 3) MAX()函数的功能是, 返回给定参数表中的最大值; 4) ABS()函数的功能是, 返回传递给它的参数的绝对值。与此同时, 发挥软件自动计算、自动排序及单元格等式引用规则等功能, 将优选空调冷热源系统设计成步步相连的计算过程, 从而可以简单方便地计算出最终优选指标。

2 实例分析

已知某集中空调系统应制冷量为 1 756 kW, 需为其选择合理的冷热源系统。综合考虑各种因素, 排除一些明显不可能的方案, 可得如下 5 种冷热源系统的待选方案^[9-10]:

- 方案 1 水冷离心式 + 锅炉冷热源系统;
- 方案 2 风冷活塞式冷热源系统;
- 方案 3 风冷螺杆模块式冷热源系统;
- 方案 4 直燃型吸收式冷热源系统;
- 方案 5 蒸汽型吸收式冷热源系统。

2.1 评价指标的确定

在综合考虑各种实际因素的情况下, 选取能够反映该空调系统各待选方案的技术经济评价因素指标, 最终确定如下 6 个指标: 平均能耗、初投资相对价格、运行维护费、设备寿命及可靠性、占地面积、对环境的影响。其中, 前 3 个为定量指标, 后 3 个为定性指标。定量指标可以根据实际情况计算出来; 定性指标的定量化可按优、良、中、一般、差 5 个等级进行划分, 分别取值 5, 4, 3, 2, 1 进行确定, 然后利用“头脑风暴法”进行等级评价, 并分别赋予指标值。5 种冷热源系统的待选方案的评价指标见表 1 所示。

表 1 各方案评价指标表

Table 1 The scheme evaluation index table

方案编号	平均能耗 / (万元 / 月)	初投资相对价格 / %	运行维护费 / (万元 / 月)
1	12.90	83.5	1.0
2	16.18	112.5	1.5
3	22.51	112.5	1.0
4	14.02	69.5	1.2
5	8.36	100.0	1.2

方案编号	设备寿命及可靠性	占地面积	对环境的影响
1	5	3	3
2	3	5	3
3	4	5	3
4	3	4	2
5	3	2	2

2.2 在 Excel 软件中的实现

2.2.1 评价指标的输入和各项因素指标均值化处理

方案优选在 Excel 软件中的应用如图 1 所示。在 A5: A9 单元格区域中分别输入 5 个空调冷热源系统待选方案, 在 B5: G9 单元格区域输入表 1 中的各方案评价指标值。指标原始参数确定之后, 确定参考方案的各项指标值, 如 B4: G4 单元格区域。

单元格 A10 为评价指标的平均值 $aver(k)$ 。这里以 $aver(1)$ 为例, 编辑函数 SUM(B4: B9)/6, 得到平均能耗的均值。 $aver(k)$ 结果见 B10: G10 单元格区域。

2.2.2 数据的无量纲化处理

以参考方案的平均能耗无量纲指标计算为例, 说明数据无量纲化的 Excel 算法实现技巧。在单元格 B12 中输入 “=B4/\$B\$10”, 即将平均能耗指标 $aver(k)$ 固定化。式中, B4 是相对引用, 即单元格位置随公式所在的单元格位置变化而变化, 例如在单元格 D1 中输入公式 “=B4”, 当 D1 拖到 D2 时, 公式会变成 “=B5”, 再拖到 D3, 公式变成 “=B6”, 依次类推; \$B\$10 是绝对引用, 即将 B10 这个单元格的位置锁定, 不管引用它的公式所在的单元格位置如何变化, 始终引用的是 B10 单元格的内容。因此, 本文选中单元格 B12 向下拉动至单元格 B17, 即可计算得出平均能耗指标的各待选方案及参考方案的无量纲化数据, 结果见 B12: B17 单元格区域。其余评价指标的原始数据无量纲化的 Excel 算法实现同理可得, 只需改变函数的列名即可。

2.2.3 关联系数计算

计算空调冷热源系统待选方案与参考方案的关联系数是进行优选指标关联度计算的关键步骤。以方案 1 水冷离心式 + 锅炉冷热源系统方案的平均能耗评价指标的关联系数计算为例, 说明关联系数 $\zeta_{01}(k)$ 计算的 Excel 算法实现技巧。

关联系数计算公式比较复杂, 所用数据较多, 需恰当选用 Excel 软件的内置函数进行公式编辑。如图 1 所示, 综合利用内置函数 MIN(), MAX() 及 ABS(), 在单元格 B19 中输入 “=(MIN(ABS(\$B\$12-\$B\$13), ABS(\$B\$12-\$B\$14), ABS(\$B\$12-\$B\$15), ABS(\$B\$12-\$B\$16), ABS(\$B\$12-\$B\$17))+0.5*MAX(ABS(\$B\$12-\$B\$13), ABS(\$B\$12-\$B\$14), ABS(\$B\$12-\$B\$15), ABS(\$B\$12-\$B\$16), ABS(\$B\$12-\$B\$17)))/(ABS(\$B\$12-\$B\$13)+0.5*MAX(ABS(\$B\$12-\$B\$13), ABS(\$B\$12-\$B\$14), ABS(\$B\$12-\$B\$15), ABS(\$B\$12-\$B\$16), ABS(\$B\$12-\$B\$17)))”, 即可得到关联系数 $\zeta_{01}(1)$ 。从单元格 B19 向下拉动至单元格 B23, 得到各供选择方案的关联系数, 结果见 B19: B23 单元格区域。其余评价指标的

关联系数计算同理可得，只需改变函数中的相应列名即可。

2.2.4 关联度计算

空调冷热源系统各待选方案的关联系数计算出来以后，关联度的计算就较简单。如图 1 所示，利用内置函数 SUM() 进行计算公式编辑。以方案 1 的关联度计算为例，说明关联度 $R(1)$ 计算的 Excel 算法实现技巧。

在单元格 B25 中输入 “=SUM(B19:G19)/6”，得到关联度 $R(1)$ 。同理可得其余方案的关联度 Excel 算法计算实现技巧，结果见 B25: B29 单元格区域。

2.2.5 关联度排序

空调冷热源系统优选指标关联度计算的智能化计算表格设置好后，利用 Excel 软件中的自动排序功能，依据关联度计算结果进行排序。排序结果如图 1 中的 A31: A35 单元格区域所示。

基于灰关联分析法的Excel算法优选空调冷热源系统						
评价指标 $A_i(k)$	平均能耗(万元/月)	初投资相对价格(%)	运行维护费(万元/月)	寿命及可靠性	占地面积	对环境的影响
参考方案 $A_0(k)$	8.36	69.5	1.0	5	5	3
水冷离心式 $A_1(k)$	12.90	83.5	1.0	5	3	3
风冷热泵式 $A_2(k)$	16.18	112.5	1.5	3	5	3
风冷螺杆模块式 $A_3(k)$	22.51	112.5	1.0	4	5	3
直燃型吸收式 $A_4(k)$	14.02	69.5	1.2	3	4	2
蒸汽型吸收式 $A_5(k)$	8.36	100.0	1.2	3	2	2
aver(k)	13.72	91.25	1.15	3.83	4	2.67
数据无量纲化 $X_i(k)$						
$X_1(k)$	0.61	0.76	0.87	1.30	1.25	1.13
$X_2(k)$	0.94	0.92	0.87	1.30	0.75	1.13
$X_3(k)$	1.18	1.23	1.30	0.78	1.25	1.13
$X_4(k)$	1.64	1.23	0.87	1.04	1.25	1.13
$X_5(k)$	1.02	0.76	1.04	0.78	1.00	0.75
$X_6(k)$	0.61	1.10	1.04	0.78	0.50	0.75
关联系数计算 $Z_i(k)$						
$Z_1(k)$	0.61	0.61	1.00	1.00	0.43	1.00
$Z_2(k)$	0.47	0.33	0.33	0.33	1.00	1.00
$Z_3(k)$	0.33	0.33	1.00	0.50	1.00	1.00
$Z_4(k)$	0.56	1.00	0.56	0.33	0.60	0.33
$Z_5(k)$	1.00	0.41	0.56	0.33	0.33	0.33
关联度 $R(i)$						
$R(1)$	0.77					
$R(2)$	0.58					
$R(3)$	0.69					
$R(4)$	0.56					
$R(5)$	0.49					
自动排序						
$R(1)$						
$R(2)$						
$R(3)$						
$R(4)$						
$R(5)$						

图1 方案优选指标关联度计算及排序

Fig.1 The correlation calculation and sorting for scheme optimum index

2.3 计算结果分析

由计算结果可知，5种冷热源系统的待选方案排序为 $R(1) > R(3) > R(2) > R(4) > R(5)$ 。方案 1 最接近参考方案，为 5 个待选方案中的最优方案，与实际情况吻合，结果经得住实践检验。

3 结语

本文以灰色系统理论为依据、Excel 软件为实现工具，利用 Excel 软件来实现灰关联分析法优选空调冷热源系统。该方法科学合理、简单实用。由实例计算结果及表格设置技巧可知，该方法适合不同层

次的工程技术人员使用，并能在一定程度上提高暖通设计质量及工作效率。

参考文献：

[1] 魏 鋈, 张维亚. AHP和Excel在空调冷热源方案选择中的应用[J]. 华北科技学院学报, 2008, 5(2): 38-40.
Wei Jun, Zhang Weiya. The Application of AHP and Excel in the Scheme-Selection for the Air-Conditioning Heat and Cold Sources[J]. Journal of North China Institute of Science and Technology, 2008, 5(2): 38-40.
[2] 周邦宁. 集中空调用制冷(热)机组的选型原则[J]. 暖通空

- 调, 1998, 28(3): 50-52.
- Zhou Bangning. Specification of Heating and Chiller Units for Centralised Air Conditioning Systems[J]. Heating Ventilation & Air Conditioning, 1998, 28(3): 50-52.
- [3] 杨海涛, 完颜华, 李 佳, 等. 灰色关联法和层次分析法在工程方案优选中的应用[J]. 环境科学与管理, 2008, 33(6): 69-72.
- Yang Haitao, Wan Yanhua, Li Jia, et al. The Use of Grey Interrelated Method and Analytical Hierarchy Process on Project Optimization[J]. Environmental Science and Management, 2008, 33(6): 69-72.
- [4] 邓聚龙. 灰色系统理论教程[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1990: 122-141.
- Deng Julong. Gray System Theory Tutorial[M]. Wuhan: Huazhong University of Science & Technology Press, 1990: 122-141.
- [5] 王浙明, 史惠祥, 苏雨生, 等. 灰色关联模型用于工程方案优化[J]. 中国给水排水, 2002, 18(1): 81-84.
- Wang Zheming, Shi Huixiang, Su Yusheng, et al. Grey Relational Model for Engineering Optimization[J]. China Water & Wastewater, 2002, 18(1): 81-84.
- [6] 张 欢, 陈汝东. 空调冷热源方案的灰色关联法分析[J]. 制冷空调与电力机械, 2009, 30(6): 8-11.
- Zhang Huan, Chen Rudong. Application of Grey Relation Analysis in Selection of Air-Conditioning Cold/Heat Sources [J]. Refrigeration Air Conditioning & Electric Power Machinery, 2009, 30(6): 8-11.
- [7] 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.
- Shen Hong. Grey Matter Element Analysis Used in Selection of Heat/Cold Sources for Air Conditioning[J]. Heating Ventilation & Air Conditioning, 2001, 31(1): 32-34.
- [8] 刘 颖, 张小松. AHP法在空调冷热源方案选择中的应用[J]. 东南大学学报, 1998, 28(9): 56-60.
- Liu Yin, Zhang Xiaosong. Application of AHP with Satisfactory Judgment Matrix Consistency in the Selection of Air-Conditioning Cooling/Heating Sources[J]. Journal of Southeast University, 1998, 28(9): 56-60.
- [9] 冯小平. 系统灰色优化方法及在空调工程中的应用[J]. 青岛建筑工程学院学报, 1999, 20(3): 46-50.
- Feng Xiaoping. System Gray Optimization Method and Its Application in Air-Conditioning Systems[J]. Journal of Qingdao Institute of Architecture and Engineering, 1999, 20(3): 46-50.
- [10] 冯小平, 吴航明. 集中空调系统冷热源方案灰色优选实例[J]. 江南学院学报, 2001, 16(2): 26-30.
- Feng Xiaoping, Wu Hangming. Examples of Gray Optimum Selection of Cool-Hot Source Scheme of Centralized Air Conditioning Systems[J]. Journal of Jiangnan College, 2001, 16(2): 26-30.
- [11] 谭超毅, 王孟孟, 胡海华, 等. 神农大酒店地源热泵空调系统技术方案分析[J]. 湖南工业大学学报, 2014, 28(3): 1-5.
- Tan Chaoyi, Wang Mengmeng, Hu Haihua, et al. Analysis on Technology Scheme of Ground-Source Heat Pump System in Shennong Hotel[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2014, 28(3): 1-5.

(责任编辑 邓 彬)