

文章编号: 1004-7271(2001)02-0149-05

冷藏库隔热层的经济性探讨

刘桂平, 葛茂泉

(上海水产大学食品学院 上海 200090)

摘要:根据隔热材料的热物理性质、现行价格和冷库构造及使用要求,采用模糊综合评判法选择隔热材料。采用经济厚度法确定隔热层厚度,此方法着眼于经济效果,使隔热层的初投资、经营管理费用和食品干耗损失费用之和趋于最小。用矩阵实验室 5.3(MATLAB 5.3)对冷库隔热层进行优化设计计算,力图获得安全、经济的效果。

关键词:模糊综合评判;隔热材料;经济厚度;矩阵实验室 5.3

中图分类号:TB65 **文献标识码:**A

Economical approach of insulating layer in a cold storage

LIU Cui-ping, GE Mao-quan

(College of Food Science, SFU, Shanghai 200090, China)

Abstract: Considering the thermophysical properties and price of insulating material, the structure and requirements of a cold storage, the type of insulating material was selected by the method of fuzzy multiple judgement, the thickness of the insulating layer was decided by the method of economical thickness which was based on economic benefit. Therefore the sum of the initial investment, the operating cost and the drying loss cost was reduced to a minimum. MATLAB 5.3 was used to optimize the design of insulating material. The economical and reasonable results were obtained.

Key words: fuzzy multiple judgement; insulate material; economical thickness; MATLAB 5.3

为了减少冷库的冷量损失,保证库内设定温度稳定,提高运转的经济性,冷库的围护结构必须敷设足够厚度的隔热材料。保持冷库外表面温度高于环境空气露点,防止表面凝露结霜。这势必涉及到隔热材料和隔热层厚度的选择问题。本文采用模糊综合评判法来选择隔热材料,采用经济厚度法来确定隔热层厚度,使用矩阵实验室 5.3(MATLAB 5.3)软件优化设计计算。在科学研究和工程应用的过程中,往往要进行大量的数学计算, MATLAB 5.3 正是数学计算应用软件之一。它不仅具有数学计算的功能,而且还有绘图、仿真、信号处理、图形用户界面设计等功能。与 BASIC、FORTRAN 语言以及 C 语言相比, MATLAB 5.3 的语法规则更简单,编程特点更贴近人的思维方式。

1 隔热材料的模糊综合评判

冷库隔热材料的隔热性能直接影响库内食品的冷冻冷藏质量、制冷设备的冷负荷大小和经营费用的高低。选择隔热材料要根据冷库的热惰性要求,围护结构的构造,隔热材料的价格等具体情况进行全

面分析比较后作出抉择。所以,决定使用何种隔热材料,仅凭经验去考虑一两个参数,显然是不全面的,本文采用模糊综合评判方法^[1]来选择隔热材料,力求达到安全可靠、经济合理之目的。

1.1 建立评判对象集

评判对象是各种有机的或无机的隔热材料,有机隔热材料的热物理性质优良、稳定,在冷库中得到广泛应用,无机隔热材料则因其吸湿性,已较少采用。现选用评判对象集 $V = \{ \text{聚苯乙烯泡沫塑料, 聚氯乙烯泡沫塑料, 聚氨脂泡沫塑料, 稻壳} \}$ 作为例子^[1]。

1.2 建立因素集

因素集采用隔热材料的热物理性质(密度、热导率、蒸汽渗透系数、防火性能、吸湿率和抗压强度)和价格,确定因素集为:

$$U = \{ U_1, U_2, U_3, U_4, U_5, U_6, U_7 \} = \{ \rho, \lambda, \varphi, \text{FIRE}, \mu, \text{PA}, \text{PRICE} \}$$

其中 $\lambda, \varphi, \text{FIRE}, \mu, \text{PA}, \text{PRICE}$ 依次表示密度(kg/m^3)、热导率 $[\text{w}/(\text{m}\cdot\text{k})]$ 、蒸汽渗透系 $[\text{g}/(\text{m}\cdot\text{h}\cdot\text{Pa})]$ 、防火性能、吸湿率($\%$)、抗压强度(Pa)和价格(元)。

1.3 建立因素权值

因素权值满足归一性和非负性^[1],既: $A_j = (a_{j1}, a_{j2}, \dots, a_{jn})$, $a_{ij} > 0, \sum_{j=1}^n a_{ij} = 1, j = 1, 2, \dots, n$ 因素权值由专家根据对评判对象的具体要求确定,对于不同的条件,权值可以不同。本文确定隔热材料的因素集的权值为:

$$A = (0.1, 0.4, 0.1, 0.1, 0.05, 0.1, 0.15)$$

1.4 确定单因素评判结果

按表 1 给定的参数值,根据各单因素对评判对象综合性能的影响方式,按趋势一致性的原则,以各对象参数的上下限为基准,构成各单因素的评判结果。例如: λ 值越小越好,则因素 U_2 的隶属度由 $U_2 = 1 - (\lambda - \lambda_{\min})/\lambda_{\max}$ 来确定, λ 表示隔热材料热导率, λ_{\min} 表示所选隔热材料热导率的最小值, λ_{\max} 表示所选隔热材料热导率的最大值。其它单因素评判同理,得出各单因素的评判值如表 1 所示。各隔热材料单因素的参数值参见文献^[2]。

表 1 单因素评判值
Tab.1 Judgement number of elements

热物理性质及现行价格	聚苯乙烯		聚氨脂		聚氯乙烯		稻壳	
	参数值	评判值	参数值	评判值	参数值	评判值	参数值	评判值
密度(kg/m^3)	35	1	45	0.78	45	0.78	145	1
热导率 $[\text{w}/(\text{m}\cdot\text{k})]$	0.0465	0.65	0.03	1	0.0465	0.65	0.151	0.57
蒸汽渗透系数 $[\text{g}/(\text{m}\cdot\text{h}\cdot\text{Pa})]$	0.15	0.85	0.12	1	0.2	0.6	2.5	0
防火性能	易燃	0.2	离火既灭	1	离火既灭	0.8	易燃	0.2
吸湿率($\%$)	0.0006	0	0	1	0	1	0	1
抗压强度(Pa)	176400	1	80000	0.45	176400	1	0	0
价格(元)	800	1	1300	0.54	1000	0.85	30	1

1.5 模糊综合评判结果

按表 1 给出隔热材料的因素评判矩阵:

$$R = \begin{pmatrix} 1 & 0.78 & 0.78 & 1 \\ 0.65 & 1 & 0.65 & 0.57 \\ 0.85 & 1 & 0.6 & 0 \\ 0.2 & 1 & 0.8 & 0.2 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0.45 & 1 & 0 \\ 1 & 0.54 & 0.85 & 1 \end{pmatrix}$$

根据专家给定隔热材料的权值: $A = (0.1, 0.4, 0.1, 0.1, 0.05, 0.1, 0.15)$, 有了关系矩阵和权值, 则可进行模糊综合评判, 使用 MATLAB 5.3 进行矩阵运算^[3], 精确到小数点后四位, 程序如下:

$$R = [1 \quad 0.78 \quad 0.78 \quad 1; 0.65 \quad 1 \quad 0.65 \quad 0.57; 0.85 \quad 1 \quad 0.6 \quad 0; 0.2 \quad 1 \quad 0.8 \quad 0.2; 0 \quad 1 \quad 1 \quad 1; 1 \quad 0.45 \quad 1 \quad 0; 1 \quad 0.54 \quad 0.85 \quad 1];$$

$$A = [0.1 \quad 0.4 \quad 0.1 \quad 0.1 \quad 0.05 \quad 0.1 \quad 0.15];$$

$$B = A \cdot R \quad B = 0.7150 \quad 0.8540 \quad 0.7555 \quad 0.5480$$

由隔热材料的模糊综合评判结果可知: 如果着重考虑其导热系数和价格时, 则四种隔热材料的选择顺序为: 聚氨酯泡沫塑料 > 聚氯乙烯泡沫塑料 > 聚苯乙烯泡沫塑料 > 稻壳

该例给出一种隔热材料选择的方法, 实际情况根据隔热材料的市场行情和冷库的使用要求定合适的因素权值, 权值是可以改变的, 因而隔热材料的选择顺序可调。

2 经济性最佳隔热层厚度的确定

在冷库隔热层的优化设计中, 最重要的是隔热层厚度的确定, 隔热层厚度的确定更多的是着眼于经济效果, 使隔热层的初投资、经营管理费用和食品干耗损失费用之和趋于最小。从这个角度得到的隔热层厚度称为经济厚度^[4,5]。

2.1 与隔热层有关的费用

(1) 隔热层的初投资费用

$$I_1 = F \cdot \delta \cdot C_1 \cdot P$$

式中, F —围护结构传热面积, m^2 ; δ —隔热材料的厚度, m ; C_1 —单位体积隔热材料价格(包括施工费), 元/ m^3 ; P —投资回收率。

(2) 制冷设备投资费用

$$I_2 = F \cdot K \cdot \Delta T \cdot C_2 \cdot P$$

式中, K —隔热材料的传热系数, $kW/(m^2 \cdot k)$; ΔT —室内外温差, K ; C_2 —单位冷量制冷设备造价, 元/ kW/h 。

(3) 制冷设备耗电费用

$$I_3 = F \cdot K \cdot \Delta T \cdot W \cdot h \cdot C_3$$

式中, W —单位冷量耗电量, 度/ kW ; h —年传热时间, h , 取 8760 h ; C_3 —电费单价, 元/度。

(4) 耗水费用

$$I_4 = F \cdot K \cdot \Delta T \cdot a \cdot h \cdot C_4 / (\rho \cdot C_{120} \cdot \Delta t)$$

式中, a —补水系数; C_4 —水费, 元/ m^3 ; Δt —冷凝器进出口水温差, K ; ρ —水的密度, kg/m^3 ; C_{120} —水的比热容, $kJ/(kg \cdot K)$ 。

(5) 食品干耗损失费用

$$I_5 = F \cdot K \cdot \Delta T \cdot h \cdot b \cdot C_5$$

式中, b —食品干耗系数, kg/kW ; C_5 —食品价格, 元/ kg 。

(6)与隔热层有关的上建费用

$$I_6 = F \cdot \delta \cdot C_6 \cdot P / H$$

式中, C_6 - 上建造价, 元/ m^2 ; H - 墙体计算高度, m 。

则: 与隔热层有关的费用总和为,

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6$$

$$\text{令: } A = F \cdot C_1 \cdot P + F \cdot C_6 \cdot P / H$$

$$B = F \cdot C_2 \cdot P + F \cdot W \cdot h \cdot C_3 + F \cdot a \cdot h \cdot C_4 / (4180 \cdot \Delta t) + F \cdot h \cdot b \cdot c_5$$

$$C = \frac{1}{a_w} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{a_n}$$

$$K = (C + \delta/\lambda)^{-1}$$

$$I = A \cdot \delta + B \cdot \Delta T \cdot K$$

$$= A \cdot \delta + B \cdot \Delta T / (C + \delta/\lambda)$$

$$dI/d\delta = A - B \cdot \Delta T / \lambda \cdot (C + \delta/\lambda)^2 = 0$$

$$\text{得出最佳经济厚度计算式为: } \delta = \sqrt{\frac{B \lambda \Delta T}{A}} - C \lambda$$

2.2 隔热材料的选择和隔热层厚度确定的实例

例: 某一冷库, 长 25m, 宽 20m, 高 5m, 四墙面及顶层敷设隔热材料, 隔热材料采用聚氨脂泡沫塑料, 价格 1300 元/ m^3 。已知: $F = 950m^2$, $C_1 = 1300$ 元/ m^3 , $P = 1.1$, $C_6 = 1200$ 元/ m^2 , $H = 5$ m, $C_2 = 0.46$ 元/ $kW \cdot h$, $W = 0.15 \cdot 10^{-3}$ 度/ kW , $h = 8760h$, $C_3 = 0.4$ 元/度, $a = 1.1$, $C_4 = 0.2$ 元/ m^3 , $b = 4 \cdot 10^{-5}$ kg/kW , $C_5 = 3$ 元/ kg , $\Delta t = 10k$, $\lambda = 0.03$ [w/($m \cdot k$)], $C = 0.235m^2 \cdot h \cdot k/kW$ 。

解: 根据已知数据, 代入公式, 得: $A = 1609000$, $B = 2500$, $C = 0.235$

$$\text{隔热层厚度: } \delta = \sqrt{\frac{B \lambda \Delta T}{A}} - C \lambda = \sqrt{0.000047 \cdot \Delta T} - 0.004$$

$$\text{总费用: } I = A \cdot \delta + B \cdot \Delta T / (C + \delta/\lambda) = 1609000 \cdot \delta + 2500 \cdot \Delta T / (0.235 + \delta/0.03)$$

用 MATLAB 5.3 绘图工具绘制隔热层厚度和与隔热材料有关的总费用的曲线图^[3], 绘图程序如下: $y = \text{'sqrt}(0.000047 \cdot x) - 0.0004$; $\text{ezplot}(y, [20 60])$ 得出图 1 曲线。 $y = \text{'1609000} \cdot x + 100000 / (0.235 + x/0.03)$ '; $\text{ezplot}(y, [0.02 0.06])$ 得出图 2 曲线。其中: $\text{sqrt}()$ - 平方根函数, $\text{ezplot}()$ - 画图命令。

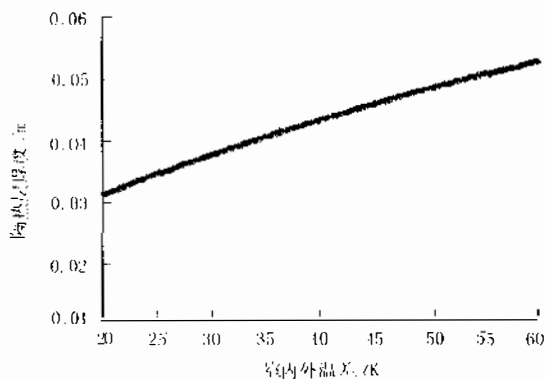


图 1 隔热层厚度随室内外温差的变化
Fig.1 Variation of insulated layer thick-ness with the temperature difference between indoors and outdoors

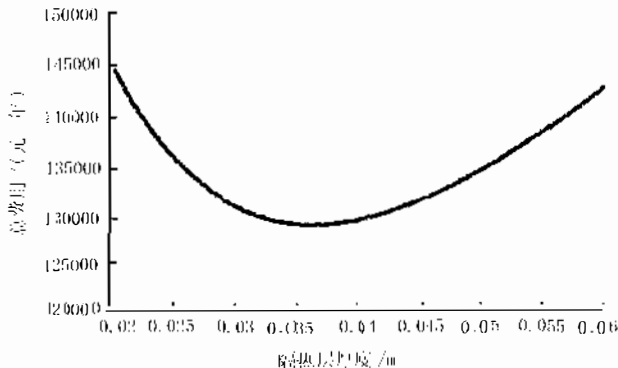


图 2 室内外温差在 40K 时隔热材料的总费用
Fig.2 The total fees of insulating material while the temperature difference between indoors and outdoors at 40K

此例题得出隔热层厚度和与隔热层有关的总费用公式, 画出与隔热层有关的总费用随隔热层厚(当

室内外温差为 40K 时)的变化图(如图 1 所示),隔热层厚度随室内外温差的变化图(如图 2 所示)。

3 结论

凭经验和根据一两个因素选择隔热材料,难以达到安全可靠、经济合理之目的。本文推荐采用模糊综合评判方法来选择隔热材料,考虑隔热材料七个方面的因素,根据冷库的构造和使用要求,能较为全面地选择隔热材料。还可以考虑更多的因素,各因素的权值根据不同条件而变化,来满足冷库各种不同工况的要求。同时,根据经济最优的原则来确定隔热层厚度。根据以上分析得出的结论是:隔热层厚度随室内外温差成抛物线变化,这是因为室内外温差大时,外界环境对冷库负荷影响甚大。与隔热层有关的总费用随隔热层厚度先减少后增大,这是因为隔热层厚度很小时,外界环境对冷库负荷影响很大,电费和水费增大,制冷设备投资费也增大,而当隔热层厚度很大时,外界环境对冷库的影响基本保持平衡,影响总费用主要是隔热材料的初投资费。

参考文献:

- [1] 贺仲雄. 模糊数学及其应用[M]. 天津:天津科学技术出版社,1982. 78-121.
- [2] 华泽到,李飞云. 食品冷冻冷藏原理与设备[M]. 北京:机械工业出版社,1999. 186-188
- [3] 薛定宇. 科学运算语言 MATLAB 5.3 程序设计与应用[M]. 北京:清华大学出版社,2000. 23-153
- [4] 赵劲松,上官耀忠. 介绍一个计算冷库建筑隔热层经济厚度的经验公式[J]. 冷藏技术,1999,(2):41-43
- [5] 关志强. 冷库隔热层的技术经济分析[J]. 冷藏技术,1991,(5):22-25.