

基于多级模糊综合评估模型的翅片管换热器热阻分析

罗晨娴,王志毅,党聪聪

(浙江理工大学建筑工程学院,杭州 310018)

摘 要:空气源热泵机组翅片管换热器的热阻对换热效果的影响很大。以模糊理论为依据,运用模糊数学的多级综合评判工具建立数学模型,开发空气源热泵机组翅片管换热器热阻的模糊综合评估专用软件,对其影响因素与影响效果之间的关系进行分析。结果表明:权重值越大的影响因素,其因素等级的变化所引起的换热效果的变化越大;同时改善多个大权重值影响因素带来的综合影响效果更为突出。根据分析结果提出了多项综合降低热阻的措施。

关键词:翅片管换热器;模糊数学;综合评判;热阻

中图分类号: TU831.4

文献标志码: A

文章编号: 1673-3851(2017)04-0527-06

0 引言

空气源热泵机组无需冷却水系统和专门的主机房,其安装使用相对方便灵活,因而在中央空调系统中得到了广泛的应用。在冬季制热运行时,尤其在湿度较大的地区,由于蒸发器翅片管内的制冷剂温度较低,空气中的水分会在翅片管表面形成霜层,影响热交换,从而导致空气源热泵机组供热能力的下降。空气源热泵机组通过制冷剂液体的相变来吸收室外空气热量,制冷剂与空气通过管壁进行传热,其换热总热阻由制冷剂侧的换热热阻,油垢、管壁、污垢、霜层的导热热阻和空气侧的对流换热热阻串联构成^[1]。换热热阻越小,换热性能越好。实际工况下,换热器是一个较为复杂的换热系统,其涉及的数学、物理及传热模型复杂且受工况影响较大,无法用通用的模型进行换热效果预测分析。

国内的研究主要集中在研究单个因素对换热器换热效率的影响。刘林等^[2]发现不同换热管材料具有不同的接触热阻,影响空气侧换热的效果,并得出铁白铜换热效果最优。赵宇等^[3]针对电化学腐蚀对

翅片管换热性能的影响进行了分析,结果显示换热器受到腐蚀将产生较大的腐蚀热阻,降低换热效率。范国荣等^[4]针对管束排列方式以及管间距进行了传热性能试验,并得出了相对于平行排列,交叉排列更有利于传热,且得出了最优管间距。焦凤等^[5]针对空气源热泵翅片管换热器结霜问题,测量了霜层厚度、结霜量、风速等因素,分析了各个因素对换热器换热效果的影响趋势,从而优化结霜周期,增强换热效果。而针对换热器整体进行多因素综合优化的研究并不多,其原因在于,已进行的实验次数有限,实验数据呈现一定的随机性,另外,热阻的大小受多方面因素的相互影响,呈现出非线性、变化范围大、相互耦合。

模糊综合评判法对研究这类型问题具有较强的适用性^[6],考虑多个模糊因素对评判对象的综合影响效果,可得出较为客观的评判结果。本文应用模糊变换原理,对单因素进行评价,再进行多因素综合评价,得到综合评判指标以量化分析不同的优化设计方案,以期今后的换热器评估提供新的思路。

收稿日期:2016-09-19 网络出版日期:2017-01-03

基金项目:国家科技支撑计划项目(2012BAF01B05)

作者简介:罗晨娴(1993-),女,浙江台州人,硕士研究生,主要从事空调节能方面的研究。

通信作者:王志毅,E-mail:zywang-wf@163.com

1 多级模糊综合评估模式的建立

1.1 三级模糊综合评判

三级模糊综合评判法,是指先把每个影响因素划分等级,再把所有影响因素划分类型。评判时,先按每个因素的等级进行一级模糊综合评判,再按每一类型的各个影响因素进行二级模糊综合评判,最后再在因素类之间进行三级模糊综合评判。^[7]这样能更好地处理因素的模糊性,另外也确保了权数的有效性,评判结果较为客观。各级模糊综合评判可表示为:

$$\mathbf{B} = \mathbf{A} \times \mathbf{R} \quad (1)$$

其中: \mathbf{B} 表示模糊综合评判集, $b_j(j=1,2,\dots,n)$ 称为模糊综合评判指标; \mathbf{A} 为相应的权重集; \mathbf{R} 为相应的评判矩阵。

1.2 相关参数的选择

1.2.1 因素集

根据空气源热泵换热器换热热阻的组成,将影响总热阻的因素分成6类,组成6个因素子集:

$$\mathbf{U} = \{\mathbf{U}_1, \mathbf{U}_2, \mathbf{U}_3, \mathbf{U}_4, \mathbf{U}_5, \mathbf{U}_6\} \quad (2)$$

其中: \mathbf{U} 为空气源热泵机组翅片管换热器总热阻, \mathbf{U}_1 为制冷剂侧换热热阻影响换热效果子集, \mathbf{U}_2 为油垢热阻影响换热效果子集, \mathbf{U}_3 为管壁热阻影响换热效果子集, \mathbf{U}_4 为污垢热阻影响换热效果子集, \mathbf{U}_5 为霜层热阻影响换热效果子集, \mathbf{U}_6 为空气侧对流换热热阻影响换热效果子集。

分析各因素类热阻情况,可得到不同的影响因素子集:

a) 因素子集 \mathbf{U}_1

空气源热泵机组翅片管内制冷剂通过吸收载冷剂热量沸腾吸热,制冷剂液体处于二相流泡状沸腾状态,其气泡越多,气泡生成至离开壁面的速度越快,制冷剂侧换热系数越大^[4,8-9]。

制冷剂液体物理性质对制冷剂侧换热热阻有较大的影响。热导率越大,热阻越小;密度与粘度越小,气泡在制冷剂液体内部的运动活力越大,增加了液体与换热器表面的接触机率,换热能力越强;另外,制冷剂液体的表面张力和密度越大,气泡数越少,扰动作用越小,换热热阻越小;制冷剂液体润湿能力指的是换热器表面能生成泡核数量的多少,润湿能力越强,管壁表面泡核较多,气泡生成的数量和速度都将越大,换热热阻越小;制冷剂液体沸腾温度越高,换热系数越大,换热热阻越小,且影响效果较为显著;蒸发器构造越有利于气泡在换热表面生成,气泡离开的速度越快,换热热阻越小。如肋管式与管束,相较于

光管与单管,更有利于气泡的生成,热阻越小。

综上所述,本文得到因素子集 \mathbf{U}_1 :

$$\mathbf{U}_1 = \{u_{11}, u_{12}, u_{13}, u_{14}\} \quad (3)$$

其中: u_{11} 表示制冷剂液体物理性质, u_{12} 表示制冷剂液体润湿能力, u_{13} 表示制冷剂液体沸腾温度, u_{14} 表示蒸发器构造。

b) 因素子集 \mathbf{U}_2

在蒸发器中,当润滑油与制冷剂部分互溶时,一段时间后,润滑油会在换热器表面聚集,形成油垢,油垢将对换热效果产生较大的影响^[10]。

随着时间的延长,油垢的增加将接近于直线增加;流速较低时,流动的切应力对油垢的去除作用较小,油垢沉积量逐渐增大,另外,流体运动的湍流程度也较弱,流体滞留层厚度增大,更易于油垢积累,因此流速越小,油垢热阻越大;润滑油与制冷剂互溶性能的好坏,对油垢的生成有着较大的影响。对于基本不互溶的情况,润滑油在管壁表面易形成较为严重的油垢;润滑油浓度越大,单位时间内沉积在换热器表面的油垢厚度越大,油垢热阻越大;润滑油粘度越大,油垢对管壁的附着能力越强,也在一定程度上减弱了流体的湍流程度,润滑油更易在管壁沉降。

综上所述,本文得到因素子集 \mathbf{U}_2 :

$$\mathbf{U}_2 = \{u_{21}, u_{22}, u_{23}, u_{24}, u_{25}\} \quad (4)$$

其中: u_{21} 表示时间长度, u_{22} 表示流速, u_{23} 表示润滑油与制冷剂互溶性, u_{24} 表示润滑油浓度, u_{25} 表示润滑油粘度。

c) 因素子集 \mathbf{U}_3

管壁热阻计算公式如下:

$$R_w = \frac{\delta}{\lambda} + r_f \quad (5)$$

其中: R_w 表示管壁热阻, δ 表示管壁厚度, λ 表示管壁导热系数, r_f 表示翅片热阻。

对于空气源热泵翅片换热管,管壁热阻包括圆管热阻和翅片热阻。圆管热阻等于圆管厚度与其热导率之比,其中热导率取决于金属材料;翅片热阻的大小与翅片效率、翅片面积占比等因素的影响,翅片面积占比指的是覆盖翅片的管面积与无覆盖面积的比值。翅片效率越高,翅片面积占比越大,翅片热阻越大^[11]。

综上所述,本文得到因素子集 \mathbf{U}_3 :

$$\mathbf{U}_3 = \{u_{31}, u_{32}, u_{33}, u_{34}\} \quad (6)$$

其中: u_{31} 表示管材导热率, u_{32} 表示管厚度, u_{33} 表示翅片效率, u_{34} 表示翅片面积占比。

d) 因素子集 \mathbf{U}_4

运行一段时间后的热交换器会因为与流体的接

触,表面附着一定量的污垢,如悬浮颗粒物、壁面结焦、化学沉淀物等,这些污垢的导热系数往往很小,且容易附着在换热器表面造成换热不均,甚至会导致机组故障停机,对换热系数产生较大的影响,由这些污垢带来的热阻称为污垢热阻^[12]。污垢热阻等于污垢厚度与污垢物质的导热系数之比,即:

$$r = \frac{x_\theta}{k} \quad (7)$$

其中: θ 表示某一时刻的时间, x_θ 为附着管壁表面污垢的厚度, k 为污垢物质的导热系数, r 为污垢热阻。在某一时刻,管壁表面污垢厚度取决于附着速度与去除速度之差,即:

$$\frac{dx_\theta}{d\theta} = K_1 \cdot C \cdot W - K_2 \cdot \tau \cdot x_\theta \quad (8)$$

其中: K_1 、 K_2 为常数, C 为流体浓度, τ 为流体对壁面的切应力。而影响切应力的因素包括流体的种类、速度、浓度等条件。时间越久,流道结构越倾向于阻拦流体,污垢沉淀厚度越大,污垢热阻越大。

综上所述,本文得到因素子集 U_4 :

$$U_4 = \{u_{41}, u_{42}, u_{43}, u_{44}, u_{45}\} \quad (9)$$

其中: u_{41} 表示流体种类, u_{42} 表示流体速度, u_{43} 表示流体浓度, u_{44} 表示时间长度, u_{45} 表示流道结构。

e) 因素子集 U_5

制热时,当换热器表面空气的温度低于露点温度 and 水的三相点温度时,换热器表面将开始结霜,霜层热阻对换热效果有着显著的影响^[6,13-15]。

在空气相对湿度等其他条件一定时,翅片表面温度从 $-7 \sim -4$ ℃,将导致结霜周期时间增加100%,当翅片温度低于 -9 ℃,结霜速率将显著增大,结霜周期时间仅需15 min,在这种情况下,提高2℃的温度,将使结霜时间延长80%,即翅片表面温度对霜层形成有着较大的影响;在其他条件一定时,当空气相对湿度变化分别为92%~82%、82%~72%时,结霜周期时间将分别增加69%、44%。相对湿度越高,换热器表面空气的水蒸气分压力越高,水蒸气扩散速度越快,导致结霜速度加快,由此可知,空气相对湿度对霜层形成也有着较大的影响;气流速度可加大空气侧的换热效果,同时风速的增大使得渗透进入翅片的霜层厚度变大。由于变换风速结霜周期仅仅是略微地增加,相较于翅片表面温度变化所带来的影响,气流速度这一因素可作为影响霜层热阻的次要因素;另外,在一个结霜周期内,霜层厚度会随着时间不断增大,换热性能变差,因此时间长短也对霜层热阻产生较大的影响;用不同的翅

片类型或不同的翅片密度将会影响换热表面的粗糙度,气流状况以及霜层结构等因素,翅片类型也对结霜过程有一定的影响。

综上所述,本文得到因素子集 U_5 :

$$U_5 = \{u_{51}, u_{52}, u_{53}, u_{54}, u_{55}\} \quad (10)$$

其中: u_{51} 表示翅片表面温度, u_{52} 表示空气相对湿度, u_{53} 表示气流速度, u_{54} 表示时间长度, u_{55} 表示翅片类型。

f) 因素子集 U_6

空气流动速度越大,流体运动的边界层厚度越小,流体运动加剧,换热效果加强,热阻减小;换热表面几何特性也会对换热产生较大的影响,包括几何形状及几何布置状况等,如椭圆管相比于普通圆管换热效果更强,高翅片管比低翅片管表面传热系数更强,几何布置情况会影响气流组织;空气流动的剧烈程度也会影响换热效果。层流通过导热传热,流速也较慢,而湍流内部具有不同方向的流体分速度,流体内部运动扰动强烈,空气与换热表面接触增强,对流换热效果明显^[16]。

综上所述,本文得到因素子集 U_6 :

$$U_6 = \{u_{61}, u_{62}, u_{63}\} \quad (11)$$

其中: u_{61} 表示空气流速, u_{62} 表示换热器表面几何特性, u_{63} 表示空气流动状态。

每个因素子集中的每个影响因素又被划分为“1级”、“2级”、“3级”、“4级”、“5级”这5个等级。级数数值越小,表示此时该因素性能对热阻贡献越大。

1.2.2 评价集

评价集 V 是由评判者对评判对象可能作出的各种评判结果所组成的集合。

$$V = \{14, 13, 12, \dots, 3, 2, 1, 0\} \quad (12)$$

评价集 V 为空气源热泵翅片管换热器总热阻大小的指标,取步长为1,离散为15个点。值越小,代表热阻值越小。

1.2.3 权重集

权重反映了各因素的相对重要程度,其决定方法主要有三种:专家评定、经验判断、理论推测。本文采用专家评定方法,咨询杭州市内多位换热器设计领域专家,对各因素进行打分,并采用统计方法、权重归一化处理,减少个人主观因素作用。

a) 根据各影响因素的相对重要程度,取得因素权重集:

$$(a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{14}) = (0.2, 0.3, 0.2, 0.3) \quad (13)$$

$$(a_{21}, a_{22}, a_{23}, a_{24}, a_{25}) = (0.2, 0.1, 0.3, 0.2, 0.2) \quad (14)$$

$$(a_{31}, a_{32}, a_{33}, a_{34}) = (0.2, 0.2, 0.3, 0.3) \quad (15)$$

$$(a_{41}, a_{42}, a_{43}, a_{44}, a_{45}) = (0.3, 0.1, 0.3, 0.2, 0.1) \quad (16)$$

$$(a_{51}, a_{52}, a_{53}, a_{54}, a_{55}) = (0.3, 0.1, 0.3, 0.2, 0.1) \quad (17)$$

$$(a_{61}, a_{62}, a_{63}) = (0.3, 0.4, 0.3) \quad (18)$$

b) 根据各因素类的相对重要程度, 取得因素类权重集:

$$(a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6) = (0.1, 0.05, 0.05, 0.3, 0.3, 0.2) \quad (19)$$

1.2.4 因素等级评判矩阵

一般情况下, 不同影响因素的等级评判矩阵也不同, 当两个因素对评判对象的影响趋势相同时, 可

$$\mathbf{R} = \begin{pmatrix} 0.9 & 1.0 & 0.9 & 0.7 & 0.5 & 0.3 & 0.1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.3 & 0.5 & 0.7 & 0.9 & 1.0 & 0.9 & 0.7 & 0.5 & 0.3 & 0.1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.1 & 0.3 & 0.5 & 0.7 & 0.9 & 1.0 & 0.9 & 0.7 & 0.5 & 0.3 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.1 & 0.3 & 0.5 & 0.7 & 0.9 & 1.0 & 0.9 & 0.7 & 0.5 & 0.3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.1 & 0.3 & 0.5 & 0.7 & 0.9 & 1.0 & 0.9 \end{pmatrix} \quad (20)$$

1.2.5 因素等级隶属度

初始化设置各因素等级隶属度, 确定一个中心因素等级, 即每个影响因素取得隶属度最大值时对应的等级, 隶属度分布可由正态分布公式计算得

取相同的等级评判矩阵。如霜层换热热阻的影响因素子集中, 空气相对湿度因素和时间因素, 对于热阻值的影响趋势是一致的, 热阻值均随着空气相对湿度和时间间隔的增大而增大, 所以两者的等级评判矩阵可以相同。所有影响因素均按照“同序”排列, 将各因素分为五个等级。评价集有 15 个元素, 则各因素通用的等级评判矩阵 \mathbf{R} 为 5×15 矩阵, 设其按正态函数的分布规律形成, 则等级评价矩阵如下:

出, 并作归一化处理。

$$\mu(x) = e^{-k(x-a)^2} \quad (21)$$

其中: k 是常数, 取值为 2; x 为因素等级值, 为 1、2、3、4、5; a 为所选定的中心因素等级值。

表 1 各因素等级隶属度

因素子集	影响因素	隶属度				
		1	2	3	4	5
U_1 制冷剂侧换热热阻	u_{11} 制冷剂液体物理性质	0	0.11	0.78	0.11	0
	u_{12} 制冷剂液体润湿能力	0	0	0.11	0.78	0.11
	u_{13} 制冷剂液体沸腾温度	0	0.11	0.78	0.11	0
	u_{14} 蒸发器构造	0	0	0	0.12	0.88
	u_{21} 时间长度	0.11	0.78	0.11	0	0
U_2 油垢换热热阻	u_{22} 流速	0	0.11	0.78	0.11	0
	u_{23} 润滑油与制冷剂互溶性	0.11	0.78	0.11	0	0
	u_{24} 润滑油浓度	0.11	0.78	0.11	0	0
	u_{25} 润滑油粘度	0.11	0.78	0.11	0	0
	u_{31} 管材导热率	0	0	0	0.12	0.88
U_3 管壁换热热阻	u_{32} 管厚度	0	0	0	0.12	0.88
	u_{33} 翅片效率	0	0	0.11	0.78	0.11
	u_{34} 翅片面积占比	0	0	0.11	0.78	0.11
	u_{41} 流体种类	0.11	0.78	0.11	0	0
U_4 污垢换热热阻	u_{42} 流体速度	0	0	0.11	0.78	0.11
	u_{43} 流体浓度	0	0.11	0.78	0.11	0
	u_{44} 时间长度	0.11	0.78	0.11	0	0
	u_{45} 流道结构	0.11	0.78	0.11	0	0
	u_{51} 翅片表面温度	0.88	0.12	0	0	0
U_5 霜层换热热阻	u_{52} 空气相对湿度	0.88	0.12	0	0	0
	u_{53} 气流速度	0	0.11	0.78	0.11	0
	u_{54} 时间	0.11	0.78	0.11	0	0
	u_{55} 翅片类型	0	0	0.11	0.78	0.11
	u_{61} 雷诺数	0	0.11	0.78	0.11	0
U_6 空气侧对流换热热阻	u_{62} 空气温度	0.11	0.78	0.11	0	0
	u_{63} 翅片形式	0.11	0.78	0.11	0	0

2 模糊综合评估

2.1 专用软件设计

根据上述原理,采用三级模糊综合评判,通过 Visual Basic 开发了空气源热泵翅片管换热器的热阻影响换热效果模糊综合评估专用软件,包括“数据文件建立”程序以及“综合评判”程序,其中综合评判方法有“模糊变换”、“以乘代替取小”、“以加代替取大”、“加权平均”四种。为体现各影响因素及其权重的综合评判作用,采用加权平均算法计算每一级综合评判指标,即按矩阵乘法计算权向量与评判矩阵的乘积。

2.2 评估过程及结果

通过改变等级隶属度改变各影响因素的性能,如当霜层翅片表面温度的中心因素等级值由“1 级”改为“5 级”,体现了此因素对热阻的贡献由大变小。因此,以评判 1 的原始等级隶属度设置情况为基准,通过改变等级隶属度,另外进行了 8 次模糊综合评判,等级隶属度设置情况如表 2 所示,总评判结果见表 3。其中,综合评判指标为各个模糊综合评判的三级综合评判指标结果,评判指标变化值为评估 2—9 评判指标分别与评估 1 评判指标的差值,其绝对值可体现换热效果变化的情况。

表 2 等级隶属度设置

序 号	隶属度设置情况
评估 1	初始化设置
评估 2	u_{51} 中心因素等级值由“1 级”变为“5 级”,其他不变
评估 3	u_{41} 中心因素等级值由“2 级”变为“5 级”,其他不变
评估 4	u_{31} 中心因素等级值由“5 级”变为“1 级”,其他不变
评估 5	u_{51} 中心因素等级值由“1 级”变为“5 级”, u_{41} 中心因素等级值由“2 级”变为“5 级”,其他不变
评估 6	u_{51} 中心因素等级值由“1 级”变为“5 级”, u_{62} 中心因素等级值由“2 级”变为“5 级”,其他不变
评估 7	u_{51} 中心因素等级值由“1 级”变为“5 级”, u_{11} 中心因素等级值由“3 级”变为“5 级”,其他不变
评估 8	u_{51} 中心因素等级值由“1 级”变为“5 级”, u_{24} 中心因素等级值由“2 级”变为“5 级”,其他不变
评估 9	u_{51} 中心因素等级值由“1 级”变为“5 级”, u_{43} 中心因素等级值由“2 级”变为“5 级”, u_{62} 中心因素等级值由“2 级”变为“5 级”其他不变

表 3 评判结果

	评估 1	评估 2	评估 3	评估 4	评估 5	评估 6	评估 7	评估 8	评估 9
综合评判指标	8.36	7.67	7.77	8.44	7.01	7.13	7.59	7.60	6.78
评判指标变化值		-0.69	-0.59	0.08	-1.29	-1.22	-0.76	-0.76	-1.58

3 结 论

因子集之间存在相互影响关系,即一个因子集中影响因素的影响效果受到另外一个因子集的影响因素等级高低的影响。因此,仅靠提高某一因子集中的影响因素的等级是不够的,需增强各因素的综合影响效果,尤其是当改变的影响因素均属于权重较大的因子集时,所带来的换热效果变化更为明显,如同时改善霜层热阻,污垢热阻和空气侧对流换热热阻以进行多项综合优化措施。

参考文献:

[1] 周亚素. 蒸发器换热热阻分析[J]. 制冷学报,1999(4): 27-30.
[2] 刘林,曹艳平,王婷. 应用模糊数学[M]. 2 版. 西安:陕西科学技术出版社,2008:52-65.

[3] 赵宇,王勤初,陈江平. 电化学腐蚀对翅片管换热器性能的影响[J]. 化工学报,2010,61(1):22-26.
[4] 范国荣,范魁元,刘丕龙. 不同结构型式纵翅片管综合换热性能的数值模拟[J]. 化工进展,2015,34(4):935-940.
[5] 焦凤,邓先和,孙大力. 管束排列及管间距对换热器传热性能的影响[J]. 石油学报(石油加工),2013,29(5):836-843.
[6] 赖建波,臧润清. 翅片管式换热器表面结霜特性的数值分析和实验研究[J]. 低温工程,2003(3):49-53.
[7] 谢季坚,刘承平. 模糊数学方法及其应用[M]. 3 版. 武汉:华中科技大学出版社,2006:143-155.
[8] 胡万玲,王良璧. 涡产生器形状对圆管管翅式换热器传热及阻力的影响[J]. 工程热物理学报,2016,37(6): 1268-1275.
[9] 李树林,南晓红,冀兆良. 制冷技术[M]. 北京:机械工业出版社,2003:100-104.
[10] 魏文建,丁国良,王凯建. 润滑油的混入对翅片管式空

- 调蒸发器性能影响[J]. 上海交通大学学报, 2008, 42(3): 430-435.
- [11] 杨世铭, 陶文铨, 传热学[M]. 4 版. 北京: 高等教育出版社, 2006: 459-466.
- [12] 张仲彬, 王丙林, 李煜, 等. 换热表面污垢热阻影响因素的评价研究[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(2): 266-271.
- [13] MOALLEM E, PADHMANABHAN S, CREMASCHI L, et al. Experimental investigation of the surface temperature and water retention effects on the frosting performance of a compact microchannel heat exchanger for heat pump systems [J]. International Journal of Refrigeration, 2012, 35(1): 171-186.
- [14] YAO Y, JIANG Y, DENG S, et al. A study on the performance of the airside heat exchanger under frosting in an air source heat pump water heater/chiller unit [J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2004, 47(17): 3745-3756.
- [15] HUANG D, ZHAO R J, LIU Y, et al. Effect of fin types of outdoor fan-supplied finned-tube heat exchanger on periodic frosting and defrosting performance of a residential air-source heat pump[J]. Applied Thermal Engineering, 2014, 69(1/2): 251-260.
- [16] 陈文飞. 空冷凝汽器翅片管积灰对换热的影响特性分析[D]. 北京: 华北电力大学, 2013: 31-41.

Thermal Resistance Analysis of Fin-tube Exchanger Based on Multiple-level Comprehensive Fuzzy Evaluation Model

LUO Chenxian, WANG Zhiyi, DANG Congcong

(School of Civil Engineering and Architecture, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Thermal resistance of the fin-tube exchanger is an important factor to the heat transfer effect of an air-source heat pump. Based on the fuzzy theory, multiple-level comprehensive evaluation method of fuzzy mathematics was applied to establish the mathematical model and develop a dedicated software for comprehensive fuzzy evaluation of thermal resistance of fin-tube exchanger. The relation between the factors and the results was analyzed. The results show that for the influencing factors with greater weight value, the changes of heat transfer effect caused by the change of factor level are larger; the comprehensive influence resulting from improvement of multiple influencing factors with large weight value is more prominent. Multiple comprehensive measures to reduce the thermal resistance are proposed according to the analysis results.

Key words: fin-tube exchange; fuzzy mathematics; comprehensive evaluation; thermal resistance

(责任编辑: 康 锋)