应用数学和力学, 第 26 卷 第 10 期(2005 年 10 月)
Applied Mathematics and Mechanics

应用数学和力学编委会编
重 庆 出 版 社 出 版

文章编号: 1000_0887(2005) 10_1191_07

在模糊随机因素影响下的多层圆筒结构的稳态热传导问题的区间数解法*

刘长虹, 陈 虬

(西南交通大学 应用力学与工程系, 成都 610031)

(宋顺成推荐)

摘要: 在多层圆筒结构稳态热传导分析中, 根据给定固体壁两侧表面温度总传热量公式, 首先推导出当边界温度为随机变量情况下总传热量函数统计参数的均值和方差; 然后推导出在导热系数为模糊数, 边界温度为随机数下的总传热量的区间表达式· 通过比较可以知道由区间数算法得到的区间最大, 由概率统计算法得到的区间最小· 并给出了两者的相对误差公式· 最后引进粗糙集中的上、下近似集, 提出用一个参数来统一定义模糊和随机区间进行稳态结构的热传导分析·

关 键 词: 热传导; 模糊; 随机; 区间数; 粗糙集

中图分类号: O159 文献标识码: A

引 言

模糊、随机因素广泛存在于工程结构的设计和制造问题中· 目前解决这类问题一般是将模糊和随机问题分开处理, 对于其中的模糊变量采用模糊集的算法处理, 例如 λ_截集法将模糊集合转化为普通集合之后, 然后在利用较为成熟的处理随机问题的方法计算, 例如一次二阶矩法, 响应面法, 摄动、Neumann(纽曼) 随机有限元法以及 Monte Carlo(蒙特卡洛) 法等等[1~3]· 实际上, 确定随机变量的统计参数至今还是一个不容忽视的难点问题· 一般来讲确定一个随机变量的统计特征, 需要经过大量的实验数据, 然后用概率统计方法处理才能得到· 由于工程中许多问题具有其特殊性, 因此这个问题就成为结构随机分析的一个瓶颈· 尽管随机变量难以确定其统计性质, 但是它们常常以存在于某个范围之内即区间数的形式出现在工程实际问题之中, 例如在热场分析中, 某个边界温度由于客观条件所限, 人们一般容易知道其波动范围· 因此在这种边界条件下, 所得到的传热量也将在某个范围内变化, 因此容易用一个区间数表示· 但是如果要将这种随机变量的统计特性用统计学的方法得到, 由于要花费许多的经费和人力, 有时甚至不能实现· 因此采用区间数来描述随机变量将是一种较好的办法· 粗糙集理论[4]是由波兰数学家 Z. Pawlak 于 1982 年提出的处理不确定知识的数据分析理论, 它可以有效地分析、处理不精确、不一致和不完善等不确定信息· 目前是信息科学中最活跃的研究理

* 收稿日期: 2003_12_02; 修订日期: 2005_06_25
基金项目: 国家自然科学基金和中国工程物理研究院联合基金资助项目(10076014)
作者简介: 刘长虹(1957—), 武汉人, 教授, 博士(联系人. 联系地址: 上海市松江龙腾路 333 号, 上海工程技术大学 汽车工程学院, 上海 201600; E_mail: Liuchanghong870@sohu.com.cn)·

论之一• 由于 Pawlak 粗糙集模型是基于确定性知识库, 即所有的集合都是经典集合, 忽略了信息库的不确定性• 当用于描述工程中不确定性参数时, 可以避开是否是模糊或随机变量的区别, 而只用粗糙集理论中上、下近似集合来表示•

根据粗糙集的这个特点, 下面将提出一种在粗糙集意义下, 利用区间数算法计算模糊随机传热量区间的方法• 本文以多层圆筒结构的稳态温度场下的传热问题为例进行讨论•

1 随机热传导方程以及均值与方差

根据热传导理论[5], 在内直径为 d_0, 外直径为 d_a, 长为 l, 在导热系数 $\lambda_k(k=1,\cdots,n)$ 与厚度 $d_k(k=1,\cdots,n-1)$ 均不相同的多层圆筒壁, 当内壁温度为 θ_1, 外壁的温度为 θ_2 时, 沿径向传导的热量 Q 的传热量方程为,

$$Q=\frac{2\pi l(\theta_1-\theta_2)}{\frac{1}{\lambda_1}\ln\left(\frac{d_1}{d_0}\right)+\frac{1}{\lambda_2}\ln\left(\frac{d_2}{d_1}\right)+\cdots+\frac{1}{\lambda_n}\ln\left(\frac{d_a}{d_{n-1}}\right)},\tag{1}$$

其中, Q 为单位时间内传递的热量•

假设内壁边界温度 θ_1, 外壁边界温度 θ_2 为相互独立的正态分布的随机变量的情况下, 设相应的均值为 μ_1、μ_2, 方差为 σ_1、σ_2• 根据概率统计理论得到

均值表达式

$$Q(\mu)=\frac{2\pi l(\mu_1-\mu_2)}{\frac{1}{\lambda_1}\ln\left(\frac{d_1}{d_0}\right)+\frac{1}{\lambda_2}\ln\left(\frac{d_2}{d_1}\right)+\cdots+\frac{1}{\lambda_n}\ln\left(\frac{d_a}{d_{n-1}}\right)},\tag{2}$$

方差的表达式

$$Q(\sigma)^2=\left\{\frac{2\pi l}{\frac{1}{\lambda_1}\ln\left(\frac{d_1}{d_0}\right)+\frac{1}{\lambda_2}\ln\left(\frac{d_2}{d_1}\right)+\cdots+\frac{1}{\lambda_n}\ln\left(\frac{d_a}{d_{n-1}}\right)}\right\}^2(\sigma_1^2+\sigma_2^2)•\tag{3}$$

由以上的均值和方差, 根据概率统计理论可以得到传热量 Q 在一定置信度下的置信区间, 实际上, 在大多数情况下很难求出上面的方差表达式, 甚至有时不能精确地确定出随机变量的概率分布函数• 这时用区间数就比较容易地表示随机变量•

严格来讲, 用区间算法计算出的区间结果将大于相应的传热量的概率区间, 在随机变量中取 ξ 倍标准差而得到的区间数, 计算出的传热量的区间将大于用概率方法计算得到传热量 ξ 倍标准差的概率区间• 其误差表达式为

$$\varepsilon_1=\left|\xi\left\{H(\sigma_1+\sigma_2)-\sqrt{H^2(\sigma_1^2+\sigma_2^2)}\right\}\right|,$$

其中 H 的表达式如下,

$$H=\frac{2\pi l}{\frac{1}{\lambda_1}\ln\left(\frac{d_1}{d_0}\right)+\frac{1}{\lambda_2}\ln\left(\frac{d_2}{d_1}\right)+\cdots+\frac{1}{\lambda_n}\ln\left(\frac{d_a}{d_{n-1}}\right)}•$$

在实际应用中, 可以取适当的 ξ 来控制误差, 以满足工程上的要求•

2 稳态热传导问题的模糊、随机变量下的区间数算法

当每层传热系数 $\lambda_k(k=1,\cdots,n)$ 均为模糊变量时, 根据模糊集理论, 利用 λ_截集方法, 将模糊变量转化为区间数, 表示为传热系数的区间数 $[\lambda_{Lj},\lambda_{Uj}],(j=1,\cdots,n)$; 其中下脚标 L 表示相应参数区间最小值, U 表示最大值• 这时关于传热系数为模糊变量, 边界温度为随机变量

的方程(1)转化为在传热系数为区间数下的随机方程,即

$$[Q'_L, Q'_U] = \frac{2\pi l(t_1 - t_2)}{\frac{1}{[\lambda_{L1}, \lambda_{U1}]}\ln\left(\frac{d_1}{d_0}\right) + \frac{1}{[\lambda_{L2}, \lambda_{U2}]}\ln\left(\frac{d_2}{d_1}\right) + \cdots + \frac{1}{[\lambda_{Ln}, \lambda_{Un}]}\ln\left(\frac{d_a}{d_{n-1}}\right)}.$$

进而利用概率统计中的区间估计方法,把随机边界条件表为区间数的形式,当内壁边界 $r = r_1$ 时,$t = [t_{w1L}, t_{w1U}]$;外壁边界 $r = r_2$ 时,$t = [t_{w2L}, t_{w2U}]$. 并假设温度区间内的所有数值均大于或等于零. 这时上式就表示为如下的传热量 Q 的区间方程,

$$[Q_L, Q_U] = \frac{2\pi l([t_{w1L}, t_{w1U}] - [t_{w2L}, t_{w2U}])}{\frac{1}{[\lambda_{L1}, \lambda_{U1}]}\ln\left(\frac{d_1}{d_0}\right) + \frac{1}{[\lambda_{L2}, \lambda_{U2}]}\ln\left(\frac{d_2}{d_1}\right) + \cdots + \frac{1}{[\lambda_{Ln}, \lambda_{Un}]}\ln\left(\frac{d_a}{d_{n-1}}\right)}. \tag{4}$$

设当 $r_1 < r < r_2$, $t_{w1} < t < t_{w2}$ 时,根据区间数算法,传热量的变化区间 $[Q_L, Q_U]$ 的左、右端点值即是最小、最大值. 其区间两端(即最大、最小)值应从以上的自变量区间 $[t_{w1L}, t_{w1U}]$ 和 $[t_{w2L}, t_{w2U}]$ 之中找出来,假设 $t_{w1} > t_{w2} \geqslant 0$, 因此可得

$$Q_L = \frac{2\pi l[t_{w1L} - t_{w2U}]}{\frac{1}{\lambda_{L1}}\ln\left(\frac{d_1}{d_0}\right) + \frac{1}{\lambda_{L2}}\ln\left(\frac{d_2}{d_1}\right) + \cdots + \frac{1}{\lambda_{Ln}}\ln\left(\frac{d_a}{d_{n-1}}\right)}, \tag{5}$$

$$Q_U = \frac{2\pi l[t_{w1U} - t_{w2L}]}{\frac{1}{\lambda_{U1}}\ln\left(\frac{d_1}{d_0}\right) + \frac{1}{\lambda_{U2}}\ln\left(\frac{d_2}{d_1}\right) + \cdots + \frac{1}{\lambda_{Un}}\ln\left(\frac{d_a}{d_{n-1}}\right)}. \tag{6}$$

由上可知,尽管计算模糊随机问题的原则是首先处理模糊变量,将模糊集转化为普通集合,然后再处理随机问题. 但是由方程(4)可知,当模糊、随机变量都处理成为区间数依次代入方程(1)后,将变成一个区间方程. 这时传热区间方程的计算结果(5)和(6),表示为在模糊变量以某一特定的 λ_截集区间和随机变量以某一特定概率区间下的区间数.

将随机变量处理成为区间数可以采用如下的方法,设随机变量的区间分别为

$$[\mu_{w1} \pm \xi\sigma_{w1}]、[\mu_{w2} \pm \xi\sigma_{w2}],$$

随机变量在以均值为中心的区间中,区间长度为标准差的 ξ 倍. 这时相应的区间数 $[Q_L, Q_U]$ 表达式为,

$$[Q_L, Q_U] = \frac{2\pi l([\mu_{w1} \pm \xi\sigma_{w1}] - [\mu_{w2} \pm \xi\sigma_{w2}])}{\frac{1}{[\lambda_{L1}, \lambda_{U1}]}\ln\left(\frac{d_1}{d_0}\right) + \frac{1}{[\lambda_{L2}, \lambda_{U2}]}\ln\left(\frac{d_2}{d_1}\right) + \cdots + \frac{1}{[\lambda_{Ln}, \lambda_{Un}]}\ln\left(\frac{d_a}{d_{n-1}}\right)}. \tag{7}$$

由于以上区间方程(4)和(7)中的模糊、随机变量转化为相应的区间数时,是在不同的标准下进行的. 因此有必要采用一个统一的转化标准.

3 在粗糙集下的模糊随机区间方程

根据文献[4, 6],粗糙集的定义如下:

设 U 是非空的有限论域, R 是 U 上的二元等价关系,称为不可分辨的关系,序对 $A = (U, R)$ 称为近似空间. 对于任意 $(x, y) \in U \times U$, 若 $(x, y) \in R$, 则称对象 x 与 y 在近似空间 A 中是不可分辨的. U/R 是 U 上由 R 生成的等价类全体,它构成了 U 的一个划分. U/R 中的集合称为基本集或原子集. 若将 U 中集合称为概念或表示知识,则 $A = (U, R)$ 称为知识库,原子集表示基本概念或知识模块.

任意有限的基本集的并和空集均称为可定义集,否则称为不可定义集. 对于论域 U 上任意一个子集 X, X 不一定能用知识库中的知识来精确地描述, X 可用关于 A 的一对下近似 $\underline{R}X$ 和

上近似 $\overline{R}X$ 来近似描述，定义为：

$$\underline{R}X = \{x \in U \mid [x] \in X\}, \tag{8}$$

$$\overline{R}X = \{x \in U \mid [x] \cap X \neq 0\}, \tag{9}$$

其中，$[x]$ 是 x 所在的 R_等价类•

下近似 $\underline{R}X$ 也称为 X 关于 A 的正域，记作 pos(X)，它可以是那些根据现有知识判断出肯定属于 X 的对象所组成的最大集合• 上近似 $\overline{R}X$ 是由那些根据现有知识判断出可能属于 X 的对象所组成的最小集合• $\overline{R}X \setminus \underline{R}X$ 称为 X 的边界，记作 bnd(X)，解释为那些根据现有知识难以判断出是否属于 X 的对象所组成的集合•

由文献[6]可知，模糊集 X 与粗集有密切的关系

$$\forall x \subseteq U,\ \ker(X) = \underline{R}X,\ \mathrm{supp}(X) = \overline{R}X, \tag{10}$$

即 Pawlak 粗糙集模型中集合 X 的上、下近似分别是模糊集合 X 的支集和核，X 的边界是 X 的隶属度介于 0 和 1 之间的那些元素• 即下近似对应于 $\lambda = 1$ 的情况；而上近似则对应于 $\lambda = 0$•

根据文献[4]定义的概率粗糙模型，设 U 是有限对象构成的论域，R 是 U 上的等价关系，其构成的等价类为

$$U/R = \{X_1, X_2, \cdots, X_n\}•$$

记 x 所在的等价类为 $[x]$，令 P 为定义在 U 的子集类构成的概率测度，三元组 $A_P = (U, R, P)$ 称为概率近似空间，设 $0 \leqslant \beta \leqslant \eta \leqslant 1$ 对于任意 $X \subseteq U$，则定义 X 关于概率近似空间 $A_P = (U, R, P)$ 依参数 η、β 的概率型下近似 $\underline{P}_\eta(X)$ 和上近似 $\overline{P}_\beta(X)$ 如下：

$$\underline{P}_\eta(X) = \{x \in U \mid P(X[x]) \geqslant \eta\}, \tag{11}$$

$$\overline{P}_\beta(X) = \{x \in U \mid P(X[x]) > \beta\}• \tag{12}$$

再考虑区间估计定理• 设 α 为给定的常数，满足 $0 < \alpha < 1$，若关系式：

$$P\{T_1 \leqslant \theta \leqslant T_2\} = 1 - \alpha \tag{13}$$

成立，并用这个随机区间作为参数 θ 的估计，则称 $[T_1, T_2]$ 是参数 θ 的置信水平为 $1-\alpha$ 的置信区间，T_1 称为置信上限，T_2 称为置信下限，$1-\alpha$ 称为置信度•

由式(11)、(12)、(13)可以看出置信区间与粗糙集中上、下近似集之间的关系• 为了与上面由模糊集定义的粗糙集相对应，故作如下的定义：

设 U_1 是有限对象构成的论域，R_1 是 U_1 上的等价关系，其构成的等价类为

$$U_1/R_1 = \{X_1, X_2, \cdots, X_n\}•$$

记 x 所在的等价类为 $[x]$，令 $F(X)(=1-P(X))$ 为定义在 U_1 的子集类构成的概率测度，三元组 $A_F = (U_1, R_1, F)$ 称为概率近似空间，设 $0 \leqslant \beta \leqslant \eta \leqslant 1$ 对于任意

$$X \subseteq U_1,$$

则定义 X 关于概率近似空间 $A_F = (U_1, R_1, F)$ 依参数 η、β 的概率型下近似 $\underline{F}_\eta(X)$ 和上近似 $\overline{F}_\beta(X)$ 如下：

$$\underline{F}_\eta(X) = \{x \in U_1 \mid F(X) \mid [x] \geqslant \eta\}, \tag{14}$$

$$\overline{F}_\beta(X) = \{x \in U_1 \mid F(X) \mid [x] > \beta\}• \tag{15}$$

分别取实常数 $0 \leqslant \alpha_2 < \alpha_1 \leqslant 1$，令 $\eta = \alpha_1$，$\beta = \alpha_2$，满足 $0 \leqslant \beta < \eta \leqslant 1$，则以置信水平为 β 的置信区间里实数集合为上近似集，以置信水平为 η 的置信区间里实数集合为下近似集• 特别是当 $\eta = 1$ 时，下近似集包括了置信度为 0 的置信区间内的元素，对于凸集问题这个区间将只包含一个元素；$\beta = 0$ 则代表的上近似集包含了概率近似空间中的所有元素•

根据上述定义，模糊或随机变量可以利用式(8)、(9)和式(14)、(15)转化成为具有粗糙理论上、下近似集意义下的区间数．

为了能够获得一个形式统一的粗糙集，下面构造一个固定下近似集，变上近似集的粗糙集．首先假设本文所研究的模糊变量为L_R型模糊变量[2]，随机变量的概率密度为凸函数，取模糊变量当 $\lambda=1$ 情况下的 λ_截集所截区间或随机变量当置信水平 $\eta=1$ 下的置信区间定义为下近似集．取模糊变量在 λ_截集下的 λ 与置信水平 β 为同样的数值，即令 $\beta=\lambda=S$，其中实数 $S\in[0,1]$．定义在统一的数值 S 下所取得相应的模糊区间或置信区间为上近似集．在此不妨称 S 为粗糙尺度，当 $S=1$ 是上、下近似集重合．$S=0$ 时，上近似集与相应的模糊集合或随机集合所定义的区间相一致．

算例　两层不同材料组成的圆筒其内直径为 $d_0=159$ mm，假设圆筒很长且两筒为紧密的理想接触，结合部位的直径 $d_1=279$ mm，外直径为 $d_a=319$ mm．其中结构材料的导热系数为模糊参量，其隶属函数为正态型隶属函数，

$$z(\lambda_k)=\exp\left\{-b_k(\lambda_k-a_k)^2\right\},\qquad k=1,2,$$

其中，a_k 对应 λ_k 最可能出现的值，$b_k(b_k>0)$ 表示预测不确定性的大小．当 b_k 趋于无穷大或等于零时，导热系数不具有模糊性．里面材料的导热系数最可能出现值为 $a_1=0.06$ W/(m·K)，外面材料的导热系数最可能出现值为 $a_2=0.15$ W/(m·K)．

结构内外壁的温度为随机变量．内壁边界温度为 θ_1，是均值为350℃，方差为2℃的正态分布的随机变量；外壁的边界温度 θ_2 服从于均值50℃，方差1℃的正态分布的随机变量．

根据上述定义，首先取关于模糊变量即导热系数粗糙尺度 $S=1$，这时关于模糊变量的粗糙集上下近似集重合为一点 $a_k(k=1,2)$．

根据式(2)和(3)得到圆筒沿径向单位长度传热量的均值为 $\mu=183.6$ W/m，标准差 $\sigma=1.368\ 7$ W/m．

采用Monte_Carlo直接抽样法，当抽样次数 $N=100$ 次时，其均值与方差为[183.694 2 W/m，1.515 4 W/m]；$N=500$ 次时为[183.621 9 W/m，1.446 0 W/m]；$N=1\ 000$ 次时为[183.586 5 W/m，1.404 5 W/m]．

由两种计算结果比较可知，计算公式(2)和(3)无误．

如果取传热量的3倍标准差所组成的概率区间为[178.893 9 W/m，187.706 1 W/m]．根据式(7)，分别取随机变量3倍标准差所成区间，内壁边界温度区间 $[\theta_{L1},\theta_{U1}]=[344℃,356℃]$，外壁边界温度区间 $[\theta_{L2},\theta_{U2}]=[47℃,53℃]$，计算出区间数算法的相应的区间为[178.120 7 W/m，189.138 5 W/m]．两者之间左右端点的相对误差为 $[\varepsilon_L,\varepsilon_U]=[-0.004\ 3,0.007\ 6]$．如果取统一形式，用同一种标准的粗糙集尺度 S，由概率统计理论知，在正态随机变量取 3σ 的区间时，其置信度为0.997．取 $S=0.997$ 在此尺度下根据正态型隶属函数的定义，可以得到相应的计算导热系数的区间方程为

$$[\lambda_L,\lambda_U]=a\pm\sqrt{-\frac{\ln(S)}{b}}.$$

假设 $b=9$，由上式得到内层材料的导热系数的区间为 $[\lambda_{L1},\lambda_{U1}]=[0.041\ 73$ W/(m·K)，$0.078\ 27$ W/(m·K)$]$，外层材料的导热系数的区间为 $[\lambda_{L2},\lambda_{U2}]=[0.131\ 7$ W/(m·K)，$0.168\ 3$ W/(m·K)$]$．

根据式(5)、(6)得到相应的传热量的区间为

$$[Q_L, Q_U] = [126.1669\ \mathrm{W/m},\ 243.2835\ \mathrm{W/m}]·$$

如果先进行 $\lambda_$截集, 然后根据方差表达式(3) 求出在截集区间两端的方差, 取3倍的标准差, 得到在模糊 $\lambda_$截集下, 传热量(3倍标准差置信区间) 的变化区间,

$$[Q_{PL}, Q_{PU}] = [127.1605\ \mathrm{W/m},\ 241.4791\ \mathrm{W/m}]·$$

由概率统计方法得到的传热量区间与区间算法计算结果的相对误差为

$$[\varepsilon_{PL}, \varepsilon_{PU}] = [-0.0078,\ 0.0075]·$$

4 讨 论

通过对多层圆柱体结构的模糊随机稳态传热分析, 得出以下结论:

1) 一般来讲, 热传导问题的随机分析, 应使用概率统计方法计算, 但是有时由于外在因素所限, 需要用随机区间来进行近似分析· 目前区间算法主要是针对模糊运算而运用的, 而用于随机问题方面的研究较少· 根据本文的讨论可知, 在本文所研究问题类型中, 用区间算法可以近似计算模糊随机稳态传热问题, 与用概率统计的方法相比, 计算结果偏大, 两者的相对误差较小·

2) 根据误差估计式, 对于随机变量下的热传导分析, 首先在满足工程上误差的基础上; 若将长度因子 ξ 控制得适当小, 可使两种方法的结果区间误差减小· 如果随机变量的方差较小, 根据误差估计式可知, 两种结果的相对误差将比较小·

3) 在实际工程的许多问题中, 由于很难得到准确的有关边界温度的随机分布参数, 因此用区间数来表示边界温度的随机变化, 以及用传热量的区间来表示由相应随机变量影响而产生的变化范围, 有时会更加方便· 此外, 用区间算法比用概率统计方法计算简便, 易于用方程表达, 是一种近似算法·

4) 在只有一个随机变量的情况下, 用以上两种算法得到的结果一致· 在多变量情况下所得到区间比概率统计意义下相应的置信区间要大, 在工程上偏于安全·

因此区间数算法可以直接应用于在模糊随机分布情况下的工程实际问题中· 进而根据粗糙集理论, 构造一个下近似集不变、变上近似集的集合· 通过定义粗糙尺度的大小, 在形式上实现, 在统一的模糊和随机标准下, 对模糊、随机因素下的结构统一用区间算法进行分析计算·

[参 考 文 献]

[1] 陈虬, 刘先斌. 随机有限元方法及其工程应用[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 1993.

[2] 吕恩琳. 模糊随机有限元平衡方程的摄动解法[J]. 应用数学和力学, 1997, **18**(7): 631—638.

[3] 刘长虹, 陈虬. 单源模糊数的模糊随机有限元方程的解法[J]. 应用数学和力学, 2000, **21**(11): 1147—1150.

[4] 张文修, 吴伟志, 梁吉业, 等. 粗糙集理论与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2001.

[5] 西川兼康, 藤田恭伸. 传热学[M]. 孙业斌 译. 北京: 兵器工业出版社, 1990.

[6] 李兵, 吴孟达. 粗糙集研究中的模糊集方法[J]. 模糊系统与数学, 2002, **16**(2): 69—73.

[7] Pawlak Z. Rough Sets: Theoretical Aspects of Reasoning About Data [M]. Norwell, MA: Kluwer Academic Publishers, 1991.

Interval Analysis of the Fuzzy_Random Heat Conduction in the Composite Tubes

LIU Chang_hong, CHEN Qiu
(Department of Applied Mechanics and Engineering, Southwest Jiaotong University,
Chengdu 610031, P.R.China)

Abstract: During the analysis of stability heat conduction in the composite tubes and when the temperature boundary conditions were the random conditions, first equations of the mean values and variances of the random thermal function were transformed. Secondly when the heat conduct parameters were the fuzzy numbers and the temperature boundary conditions were the random numbers, interval equations of the heat conduction were presented. Thirdly compared with the interval results between in the interval analysis and in the confidence interval, the result in the interval analysis is larger than that in the confidence interval. Moreover the error expecting equation was presented. Finally, with upper (lower) approximation in rough set theory, a new method of the interval analysis to deal with the stability heat conduction was presented.

Key words: heat conduct; fuzzy; random; interval number; rough set theory