

失效物理分析中的有效工具——可拓学

戴琳

(南京师范大学物理科学与技术学院, 南京, 210042)

[摘要] 可拓学是介于数学、物理学和工程学边缘的一门新兴学科, 近年来发展迅速. 它的理论基础是物元理论和可拓集理论. 将可拓学原理应用于失效分析, 工程案例的研究表明其方法是有效的.

[关键词] 可拓学; 失效物理学; 失效分析

[中图分类号] O411; TB114. 3; [文献标识码] B; [文章编号] 1008-1925(2001)03-0021-05

1 简述

失效物理(Physics of failure)是可靠性工程的一个重要领域. 它从数理统计方法发展到以理化分析为基础的失效分析方法, 从本质上探究材料、产品的不可靠因素, 从而为研制高质量的材料、产品提供科学依据. 换言之, 对材料、产品的研究、试验、制造和实际使用时所出现的故障(失效)进行分析和制定相应的解决办法, 关系到材料、产品的寿命期. 失效物理分析毋宁说是一种在失效发生之前即应切实运用的技术, 它又如同一棵不断发芽滋长的树苗, 还会产生新的技术, 启发人们去研制新的材料和产品.

在众多的失效物理分析方法中, 以不相容问题为研究中心, 用矛盾可化为相容的基本思想, 从形式化角度去研究矛盾的变化, 揭示研究对象之所以产生矛盾的内在机制及其相互转化的规律与契机的一门新兴学科——可拓学(Extenics), 正在引起人们的重视, 并迅速发展.

可拓学创立于1983年, 被认为是介于数学、物理学与工程学之间的一门边缘学科. 10多年来已初步形成了它的理论框架, 并在计算机、信息、人工智能、管理工程和控制等领域开展了应用研究. 在失效物理学方面, 笔者进行了可拓学在失效分析和质量评定等方面的应用研究. 本文拟结合工程案例将研究成果作扼要阐述.

2 可拓学^[1]

可拓学的理论基础是物元理论和可拓集理论. 所研究的内容是探讨处理矛盾问题的规律和方法, 即研究事物的数量关系及其变化, 又研究事物之间性质变化的关系, 并把二者结合起来.

物元的定义是: 事物(用 N 表示)、特征(用 c 表示)和特征值或量值(用 v 表示)三者组成的三元组, 记作:

$$R = (N, c, v)$$

或者

$$R = (N, c, c(N))$$

收稿日期: 2001-05-22

作者简介: 戴琳, 1951—, 南京师范大学物理科学与技术学院副教授, 主要从事工科物理教学与研究.

式中 R 表示物元. 如果将特征(c)及其量值(v)构成二元组, 则称为特征元(M), 记作:

$$M = (c, v)$$

事物在物元理论中指的是事物名称, 记作 $I(N)$. 特征指的是性质、功能、状态等的事物特点. 量值表示特征的量化值或量度. 量值的取值范围称为量域. 记为 $V(c)$, 或者 $V = (a, b)$, 其中 a, b 为取值范围.

多维物元的表示方法:

$$R = \begin{bmatrix} N, & c_1, & v_1 \\ & c_2, & v_2 \\ & \dots & \dots \\ & c_n, & v_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \dots \\ R_n \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中 $R_i = (N, c_i, v_i)$, $i = 1, 2, \dots, n$. 称为 R 的分物元.

事物变化的可能性就称为物元的可拓性. 物元理论的主要内容是研究物元的可拓性和物元变换以及物元变换的性质.

在当今信息时代的社会里, 人们已广泛地使用计算. 为了用计算机处理和解决事物之间的矛盾问题, 必须将各种矛盾解决过程作定量化处理. 可拓学中定量化的基础就是可拓集理论, 它包括可拓集合、关联函数和可拓关系.

可拓集合的元素是物元, 又称为物元可拓集. 关联函数用于定量地描述任一元素属于正域、负域或零界三个域中的哪一域. 可拓关系主要是用可拓集合描述事物的可变性, 将事物的是与非定性关系发展为定量的描述, 并用以描述“是变为非”、“非变为是”的转化过程^[1].

3 基于可拓方法的失效分析

失效物理学中进行失效分析时, 大多以所建立的失效物理模型为基础, 通过对试验或观测确定的参数数据, 加以推断或试验验证, 寻求失效原因, 并求得失效概率或剩余寿命^[2,3].

本文利用可拓集合理论关联函数概念研究了失效分析有关问题, 并结合工程实例作了探讨.

定义: 距——点与区间的距离. 设 x 为实域 $(-\infty, +\infty)$ 上的任一点, $X = (a, b)$ 为实域上的一个区间^[1].

$$\rho(x, X) = \left| x - \frac{a+b}{2} \right| - \frac{1}{2}(b-a) \quad (2)$$

称 x 与区间 X 的距. 设 $X_0 = (a, b)$, $X = (c, d)$, 且 $X_0 \subset X$, 则点 x 关于 X_0, X 的位置关系为(见图 1):

$$D(x, X_0, X) = \begin{cases} \rho(x, X) - \rho(x, X_0) & x \notin X_0 \\ -1 & x \in X_0 \end{cases} \quad (3)$$

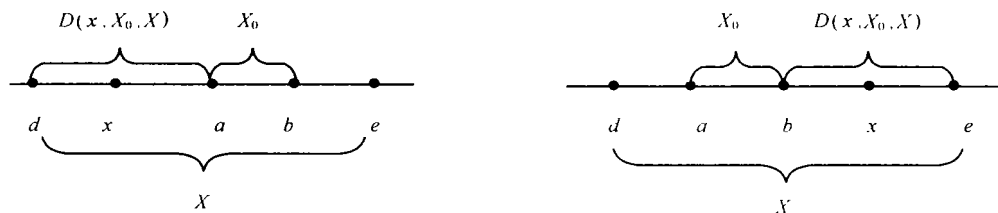
它们之间的关联函数是:

$$K(x) = \frac{\rho(x, X_0)}{D(x, X_0, X)} \quad (4)$$

进行失效分析时, 可按下列步骤进行:

(1) 确定事物 N 的失效特征元集

设 N 为可能产生的失效集为 $I = (I_1, I_2, \dots, I_n)$. 若其中 I_i 发生失效, $I_i(N)$, 它的特征元集

图 1 x 位置关系图

$$\{M_i\} = \{M_{ij}\}, \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad j = 1, 2, \dots, k \quad (5)$$

其中 $M_{ij} = (c_{ij}, V_{ij})$ 为特征元. $(V_{ij})_0 = (a_{ij}, b_{ij})$ 为 $I_i(N)$ 发生时规定的量域. $V_{ij} = (c_{ij}, d_{ij})$ 为 $I_i(N)$ 发生时极限量域.

(2) 建立事物 N 可能发生失效的物元

$$R_i = \begin{bmatrix} I_i(N), & c_{i1}, & V_{i1} \\ & c_{i2}, & V_{i2} \\ & \dots, & \dots \\ & c_{ik}, & V_{ik} \end{bmatrix}$$

(3) 建立描述事物 N 现状的物元

$$R = \begin{bmatrix} N, & c_1, & v_1 \\ & c_2, & v_2 \\ & \dots, & \dots \\ & c_n, & v_n \end{bmatrix}$$

(4) 计算关联函数

$$K(v_{ij}) = \frac{\rho(v_{ij}, (V_{ij})_0)}{\rho(v_{ij}, V_{ij}) - \rho(v_{ij}, (V_{ij})_0)} \quad (6)$$

根据关联函数的计算结果判断失效程序.

[案例] 某厂一台多管式加热炉^[4], 管内介质为烷烃($C_9 \sim C_{13}$)和氢气, 介质流量为 63 923 kg/h, 炉管规格为(外径 × 壁厚 × 长度): $\approx 168.3 \times 7.1 \times 24\,781$ mm. 炉管设计压力为 0.516 MPa, 炉膛温度为 820~850 °C. 炉管工作温度 350~450 °C, 低于 300 °C, 反应不完全, 产品合格率低, 经济损失严重; 温度高于 600 °C, 过烧, 危险性极大. 试分析炉管温度变化对加热炉失效的影响.

进行失效分析时, 首先确定失效特征元(根据公式(5))

$$M = (\text{温度}, \text{量值}) = (c, V)$$

根据题意: 规定量域 $V_0 = (350^\circ, 450^\circ)$

极限量域 $V = (300^\circ, 600^\circ)$

其次, 按公式(2)求距值, 命 x 代表温度:

$$\rho(x, X_0) = \left| x - \frac{450 + 350}{2} \right| - \frac{1}{2}(450 - 350) = |x - 400| - 50$$

$$\rho(x, X) = \left| x - \frac{600 + 300}{2} \right| - \frac{1}{2}(600 - 300) = |x - 450| - 150$$

按公式(6)计算关联函数,并考虑公式(3)的关系,得:

$$K(x) = \begin{cases} \frac{|x - 400| - 50}{|x - 450| - |x - 400| - 100} & x \notin X_0 \\ 50 - |x - 400| & x \in X_0 \end{cases}$$

设 x 值代入上式, 计算结果绘于图 2.

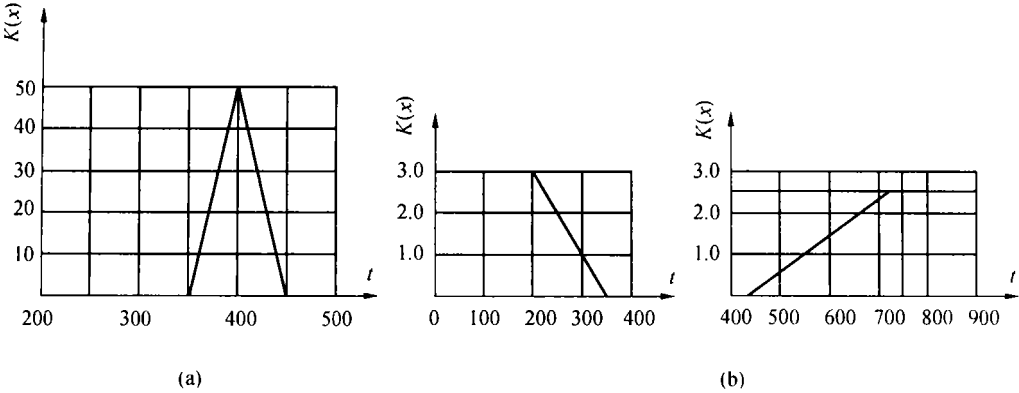


图2 $|K(x)|$ 与温度变化关系图

从上图数据可以看出: 温度在规定范围(350~ 450℃)内, $|K(x)|$ 值表征了加热炉操作运行状况, 在期望运行温度(400℃)时, $|K(x)|$ 值呈现最大值且 $K(x)$ 为正值(如(a)); 温度低于350℃和高于450℃, $K(x)$ 为负值, 其绝对值 $|K(x)|$ 从零逐渐增加(如(b)). 它意味着远离规定温度范围, 无论经济损失或者炉管过烧、濒临破坏的危险性增加, $|K(x)|$ 值也随着增加. $|K(x)|$ 值相对表征了系统或装置可能产生的失效程序.

4 结束语

失效物理学是一种“物理学+ 工程学”的基础性交叉学科, 是物理学的一个分支. 在可靠性技术领域中还是比较新的东西, 在某种意义上, 可以说它是决定产品、材料最终可行性的一门技术. 可拓学则是以物元理论和可拓集合理论为基础, 介于数学、物理学和工程学之间的一门新兴的边缘学科. 本文将可拓方法尝试地用于解决失效物理学中的失效分析, 并结合工程实际作了有益的探索. 发现这个领域前景极为广阔, 无论是理论上还是工程应用上都有着进一步开发的价值.

[参考文献]

[1] 蔡文, 杨春燕, 林伟初. 可拓工程方法[M]. 北京: 科学出版社, 2000

[2] 蒋仁言, 左明健. 可靠性模型与应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 1999

[3] 何国伟. 可靠性概述[M]. 北京: 北京工业大学出版社, 1997

[4] 居国忠, 吴宝娟, 於孝春, 等. 烷基苯 F301 加热炉炉管失效分析[J]. 南京: 南京化工大学学报, 1996, 18 (4): 80~ 85.

(下转第 38 页)

Measuring of Environment Noise for Mobile Communnication

Yu Xicun

(Department of Control Science and Engineering ,Nanjing Nomal University, Nanjing, 210042, PRC)

Abstract: In order to protect and develop digital mobile communication, it is necessary to measure radio noise in the urban environment. The paper discusses the measuremet of effective antenna noise temperature, a characteristic parameter of radio noise power. A system has been developed for the measurement. According to the difference of radio noise power, this system makes two kinds of measurement: ture RMS measument for higher man-made radio noise and Dicke measurement for the smaller one.

Key words: effective antenna noise temperature, ture RMS measument, dicke measurement

[责任编辑: 刘健]

(上接第 24 页)

Extenics— an Effective Means in Analysing Physics of Failure

Dai Lin

(College of Physics Science and Technology, Nanjing Nomal University, Nanjing, 210042, PRC)

Abstract: The extenics is a new borderline subject between maths, Physics and engineering. It has seen great advances recent years. Its theoretical basis are the theory of matter elements and extension sets. The principle of extenics is applied to failure analysis in this paper and an engineering case study confirms the effectiveness of the method.

Key words: extenics, failure physics, failure analysis

[责任编辑: 刘健]