

DTR 算法的计算机可视化实现与应用

赵 昆¹, 王生楠¹, 张继豪²

(1 西北工业大学 航空学院, 陕西 西安 710072; 2 北京理工大学机电学院, 北京 100081)

摘 要: 近些年来, 随着计算机智能化的普及, 机组结构的疲劳损伤控制如何通过计算机程序化来实现越来越被重视, 这也对现有的传统算法提出了新的挑战。针对该问题, 介绍了损伤额定值评价体系(DTR), 并假设了新的变量, 对其传统的计算过程进行了简化, 通过计算机编程软件 MATLAB 对 DTR 算法进行了新的程序化设计, 并制作了可视化窗口, 利用计算机智能化对 DTR 算法进行控制和修正, 大大提高了运算效率和精度。

关键词: 损伤容限额定值; 计算机智能化; MATLAB

中图分类号: TP312

文献标识码: A

文章编号: 1000—7180(2017)09—0133—03

The Visualization and Application of DTR Methodology Using Computer

ZHAO Kun¹, WANG Sheng-nan¹, ZHANG Ji-hao²

(1 College of Aeronautics, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China;

2 School of Mechanical and Electrical Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: In recent years, with the popularity of the computer intelligent, how to control the fleet fatigue damage by means of the computer programming draws more and more attention, so it brings much more challenge to the existing traditional algorithm. In view of the problem, the article introduces the DTR method and proposes a new variable to simplify the traditional computational process. And at last, a procedural design and visualization window for the DTR is designed, and the algorithm of the DTR is controlled and amended by using the computer intelligent. This greatly improves the operation efficiency.

Key words: damage tolerance rating (DTR); computer intelligent; MATLAB

1 引言

针对机组结构中遭受疲劳损伤的结构细节, 基于损伤容限分析相关理论, 本文对以往的损伤额定值评价方法^[1-3]进行了适当的简化, 得到新的损伤容限评估指标模型, 并通过计算机编程软件 MATLAB 对简化后的方法进行了程序化设计^[4-5], 通过计算机可视化窗口对输入初始值的控制, 计算某个结构部位的 DTR 实际值, 再与现有民航部门标准进行对比。利用计算机编程对 DTR 进行可视化窗口控制, 可以简单有效的对 DTR 所需变量进行更改, 而避免了复杂的重复运算, 提高了工作效率。

2 DTR 算法

2.1 基本思想

在某次检查中, 机组结构某细节中存在裂纹的检出概率取决于裂纹条数、检测次数、被检查细节的可达性和检测技术水平等因素。通常用 P_D 表示按给定的检查级别和检查方法, 在检查期 N_0 内, 从机队中该结构细节至少检测出一条裂纹的概率。假设有一种检测手段, 在一次检测中, 裂纹的检出概率和漏检概率均为 $1/2$, 若用这种手段检测裂纹, 要达到检出概率所需要的最少独立检测次数称为损伤容限额定值, 即 DTR。根据这一定义^[6], 得到

$$P_D = 1 - (\frac{1}{2})^{DTR}$$

(1)

由此可得

$$DTR = \frac{\lg(1 - P_D)}{\lg 0.5}$$

(2)

由上式可知,DTR 是 P_D 的单调增函数. 因此, 可以用 DTR 来反映结构细节的裂纹检出概率特性.

在 DTR 的基本算法中,假设条件是基于结构细节内多条疲劳裂纹按等间隔萌生. 这种等间隔萌生疲劳裂纹的假设能使 DTR 计算简单化,但是与多条疲劳裂纹实际萌生的间隔分布形式存在较大差距.

2.2 DTR 模型优化

假设在某特定细节处出现了疲劳裂纹,至少检测出一条裂纹的累积概率 P_d ,是由三个独立概率 P_1 、 P_2 、 P_3 决定的.

对于某给定的检查水平,可以认为 P_1 、 P_2 均为常数,则机队在检测周期 N_0 内至少检测出一条裂纹的累积概率为

$$P_d = 1 - [1 - P_s]^\Gamma$$

(3)

式中, $P_s = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3$, Γ 为总检查频次.

其中 P_3 为检测出机队中一条裂纹的概率,可以表示为

$$P_3 = 1 - \prod_{j=1}^m \prod_{i=1}^n (1 - \hat{P}_{3,ij})$$

(4)

亦即 1 减去所有检查中漏检概率的乘积. 其中式中 $\hat{P}_{3,ij}$ 为检测期 N_0 内对第 j 架含裂纹飞机进行第 i 次检查的检测概率; m 为机队中含裂纹的飞机的最大数目; n 为对一架飞机进行的最大检查数.

可以看到, P_3 的表达形式非常复杂,会对计算效率产生影响. 因此,我们假设新的变量 $\bar{P}_3$ 来进行对式(4)进行简化,即,用 $\bar{P}_3$ 来代替 P_3 . 假设在某次检查中,认为 P_1 、 P_2 均为常数,则可以认为 $\bar{P}_3$ 是在检查机组中的损伤细节时,一次检测到裂纹的平均检测概率,可以在编程时使用积分求解得到.

3 可视化及算例

计算得到所评估结构细节的 DTR 实际值之后,还需要知道最小损伤容限额定要求值,以往的裂纹开裂资料表明,许多裂纹往往是在日常活动中而不是直接的结构检查中检测出的. 基于上述情况,将 DTR 的基本要求值确定为 4. DTR 的增量则是通过对剩余强度应力与正常使用应力相比其大小和出现频率的定量评估,以及对损伤检测额外机会的考虑

来确定的,总的 DTR 要求值为基本值与增量值之和. 表 1 为目前适航当局认可的典型飞机结构的 DTR 要求值.

表 1 典型飞机结构要求的 DTR 值

结 构		累计检测 概率/%	要求的 DTR (当量检测概率)		
			基本值	增量	总值
机翼	外部可见区	94	4	0	4
	外部不可见区	98	4	2	6
	主要襟翼结构	99	4	4	8
尾翼	主要结构	98	4	2	6

为了确定平均检测概率 $\bar{P}_3$,对式(4)中的 P_3 在其有效范围内进行积分后再取均值. 本文采用了辛普森积分方法^[7]来进行计算,并使用 MATLAB 进行编程,程序如下:

```
function s=simprl1(a,b,c,d)
M=1000;
f=@(x)1-exp(-((x-d)/(c-d))^1.8);
h=(b-a)/(2*M);
s1=0;
s2=0;
for k=1:M
    x=a+h*(2*k-1);
    s1=s1+f(x);
end
for k=1:(M-1)
    x=a+h*2*k;
    s2=s2+f(x);
end
s=h*(f(a)+f(b)+4*s1+2*s2)/3
```

为了得到最终的可视化窗口,如图 1 所示. 在使用 MATLAB 编程时,需要在计算按钮的主函数中嵌入相应的子函数程序,对可视化窗口中的各个输入框及计算按钮进行定义,并调用了积分函数对输入值进行计算,最终获得 DTR 的实际值. 具体过程如下:

```
a=get(handles.edit1,'String');
b=get(handles.edit2,'String');
c=get(handles.edit3,'String');
d=get(handles.edit4,'String');
e=get(handles.edit5,'String');
f=get(handles.edit6,'String');
g=get(handles.edit7,'String');
a1=str2double(a);
b1=str2double(b);
```

```
h=(str2double(d)-str2double(g))/(str2double(f)-1);
X=1:str2double(f)-1;
sum1=sum(X);
Y=str2double(f)-sum1*h/str2double(d);
total=str2double(d)/str2double(e)*Y;

if str2double(c)==1
s=simprl1(a1,b1,305,7.5);
elseif str2double(c)==2
s=simprl1(a1,b1,76,5);
elseif str2double(c)==3
s=simprl1(a1,b1,51,3.75);
else
set(handles.text11,'String','无效输入');
end
H=s/(b1-a1);
T=log(1-H)/log(0.5);
DTR=total*T;
S=num2str(DTR);
set(handles.text11,'String',S);
guidata(hObject,handles);
```

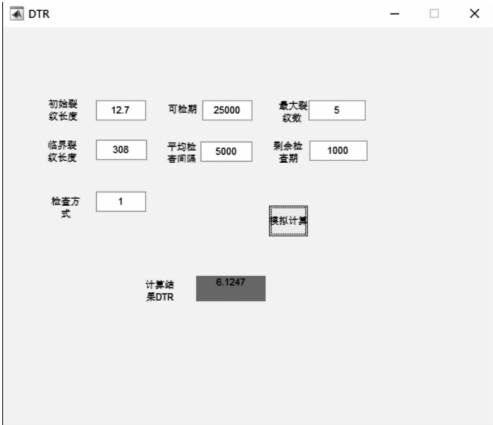


图 1 DTR 可视化窗口

在所得到的 DTR 可视化窗口中,包含了 7 个所需要输入的变量,分别代表了裂纹的初始长度、临界长度、所取的检查间隔、可检期等,利用试验中测得的数据,将其输入便可以得到该情况下的 DTR 实际值.再与表 1 的标准值进行对比,如果满足 DTR 实际值大于 DTR 要求值,则证明了所采用的检查间隔或检查方法是可行的.如果不满足要求,则可以直接在窗口中对所采取的检查间隔或检查方法进行修正,避免了重复性工作.

本文采用文献[8]中给出的波音 737 机翼外部蒙皮某个结构细节的裂纹实例,选取初始裂纹为

12.7 mm,临界裂纹 308 mm,可检期 $N_0=25\,000$ 次飞行,可检裂纹条数 k 取 5,6,7,不同裂纹条数下最后一条产生的裂纹与第一条裂纹达到同等检查水平时的剩余可检期为 1 000 次飞行,平均检查间隔 $N=5\,000$ 作为算例来对所编写程序的可靠性进行验证.

在图 1 所示的可视化窗口中,分别将初始裂纹长度、临界裂纹长度、可检期、平均检查间隔、裂纹数、剩余检查期以及检查方法所代表的数值输入可视化窗口,点击计算按钮,得到 $DTR=6.1247$.在表 1 中可以看到蒙皮部位的要求值为 4,则有 DTR 实际值大于要求值,满足了适航局要求,证明算例中所采取的检查方法和间隔是有效的,同时也证明了 DTR 算法在计算机上的程序化应用也是合理的.在文献[8]中利用传统算法得到的 DTR 值约为 4.67 左右,这也证明了经过优化处理后的模型的可靠性更高,计算值更偏于安全.

总的来说,将 DTR 值作为疲劳管理的一个重要的指标是非常合适的,也是极其有效的,而对 DTR 算法模型的优化的可靠性也得到了验证.将 DTR 算法程序化具有重要的意义,不仅仅使其计算简单化,同时也在所指定的检查方法满足不了要求时,可以更方便的对所采取的检查方法和检测频率进行修正.

4 结束语

在疲劳管理体系中,主要关注的是机组结构中发生的相似损伤及结构检查大纲的有效性,而 DTR 算法恰好将两者联系起来,将所评估结构的损伤检测概率用最简单的形式表达出来,大大提高了工作效率.本文通过计算机编程语言软件 MATLAB,对 DTR 算法进行了程序化设计,并形成了简单明了的可视化窗口,提高了在进行 DTR 运算时的工作效率.同时,通过算例也证明了在使用计算机对疲劳损伤 DTR 算法进行控制时,得到的结果也更为安全.

但在编程的过程中,也存在着不足之处.本文使用了辛普森积分来确定平均检测概率,但由于积分方法存在一定的局限性,导致结果的精度会受到影响.而且在编写 DTR 算法的主程序时,仅仅考虑了固定的三类目视检查方法,具有一定的局限性,并且在得到 DTR 值之后仍需要进行人为的对比,影响了工作效率.因此,在今后的研究中,可以对程序进行进一步完善,使得整个过程均可在可视化窗口中得以表示.

体管数目更少,电路节点的临界电荷更大以及在电路节点同时发生多处翻转的情况下,抗单粒子翻转的成功率更高. 由于采用环栅晶体管结构以及空间冗余设计导致设计的抗辐射加固 SR 锁存器占用芯片面积过大,但为了获得更好的抗辐射性能,只能牺牲芯片面积,体现了面积换性能的思想.

参考文献:

[1] 韩郑生. 抗辐射集成电路概论[M]. 北京: 清华大学出版社, 2008: 1-20, 83, 181.

[2] Guilherme S. Cardoso, Tiago R. Balen. Study of layout accuracy on W/L estimation of ELT in analog design flow[C]// 2016 IEEE 7th Latin American Symposium on Circuits & Systems. IEEE, 2016: 279-282.

[3] Tong Lin. Experimental Investigation into Radiation-Hardening-By-Design (RHBD) Flip-Flop Designs in a 65nm CMOS Process[C]// 2016 IEEE International Symposium on Circuits and Systems, . IEEE, 2016: 966-969.

[4] Liu M N, Whitaker S. Low power SEU immune CMOS memory circuits[J]. IEEE Transactions on Nu-

clear Science, 1992(39): 1679-1684.

[5] Chen Tai-Hua. Ultra-low power radiation hardened by design memory circuits[J]. IEEE Transactions on Nuclear Science, 2007(54): 2004-2011.

[6] 胡明浩. 基于 RHBD 技术 CMOS 锁存器加固电路的研究[J]. 微电子学与计算机, 2010, 28(27): 206-209.

作者简介:

苏 霖 男, (1992-), 硕士研究生. 研究方向为模拟集成电路设计. E-mail: sulin@mail. nwpu. edu. cn.

王 佳 男, (1983-), 博士, 讲师. 研究方向为传感器芯片.

高 武 男, (1982-), 博士, 教授. 研究方向为前端微电子系统集成.

郑 然 男, (1981-), 博士, 讲师. 研究方向为 CMOS 图像传感器设计.

魏晓敏 女, (1984-), 博士, 助理研究员. 研究方向为抗辐射集成电路设计.

胡永才 男, (1956-), 博士, 教授. 研究方向为前端微电子和集成电路设计.

(上接第 135 页)

总的来说,使用计算机可视化程序对 DTR 算法进行控制的优点是显而易见的,在程序中易于对积分方法和现有的算法进行进一步完善,例如加入考虑裂纹萌生间隔的算法. 因此,采用计算机智能化对疲劳损伤进行控制与分析,具有重要的意义.

参考文献:

[1] 张显余,葛子厚,付长安. 飞机结构疲劳强度损伤容限额定值评价法分析[J]. 飞机设计. 2013, 33(1): 30-34.

[2] 王生楠,李贞培. 飞机 DTR 体系的面向对象设计与实现[J]. 西北工业大学学报. 2005, 23(2): 165-170.

[3] 田秀云,刘立明. 一种改进的 DTR 算法[J]. 中国民航学院学报, 2006, 24 (3): 35-37.

[4] 应亮. Matlab 的图形用户界面的应用[J]. 电脑知识与技术, 2005, 12(11): 75-76.

[5] 邓方宝,姜丽红,吴连发. MATLAB 在科学计算可视化中的应用[J]. 上饶师范学院学报(自然科学版), 2002, 22 (3): 65-68.

[6] 郑晓玲. 民机结构耐久性与损伤容限设计手册(下册)[M]. 北京: 航空工业出版社, 2003.

[7] 关治,陆金甫. 数值分析基础[M]. 北京: 高等教育出版社, 1998.

[8] Federal aviation administration [S]. USA: Department of Transportation, 1994.

作者简介:

赵 昆 男, (1987-), 博士研究生. 研究方向为疲劳断裂及损伤容限计算分析. E-mail: zhaok8782@163. com.

王生楠 男, (1963-), 博士, 教授, 博士生导师. 研究方向为结构疲劳、断裂、可靠性及损伤容限计算分析.

张继豪 男, (1996-). 研究方向为机械电子工程设计.