

基于 FRANC3D 的三维疲劳裂纹扩展的数值模拟

刘斌, 沈士明

(南京工业大学机械与动力工程学院, 南京 210009)

摘要:介绍了三维断裂分析软件 FRANC3D(Fracture Analysis Code in 3Dimensions)以及相关原理,详细说明了 FRANC3D 对于复合型裂纹断裂的判定依据、断裂后新裂纹前缘面的形成过程以及软件进行疲劳裂纹扩展计算的一个完整过程。最后,由应用实例验证了 FRANC3D 预测疲劳裂纹扩展路径及构件寿命的准确性。

关键词: FRANC3D; 三维建模; 疲劳; 裂纹扩展

中图分类号: TP39 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-0794(2007)12-0052-03

Numerical Simulation of Three - dimension Fatigue Crack Growth Based on FRANC3D

LIU Bin, SHEN Shi-ming

(College of Mechanical and Power Engineering, Nanjing University of Technology, Nanjing 210009, China)

Abstract: The software FRANC3D and correlative principle of three dimensional fracture analysis are introduced, and judgment basis of mixing mode crack growth, forming course of new crack front after propagation, and the integrated computation process of fatigue crack growth were specified. Finally, the accuracy of FRANC3D predicting fatigue crack growth path and life of component was checked based on experiment results.

Key words: FRANC3D; three dimension modeling; fatigue; crack growth

0 引言

近年来,随着有限元软件发展,用有限元方法模拟裂纹扩展开始出现。使用有限元软件模拟裂纹扩

展大概可以分成2种方式:(1)基于大型有限元软件如 ANSYS、ABAQUS 和 MSC 等,使用这些程序时首先必须根据实际问题对软件命令流进行编程,然后再

从仿真波形可以看出,在参考转速下,系统启动快速且平稳,启动转矩和启动电流瞬时值较大,当启动结束后空载运行时,启动转矩和启动电流迅速下降至零附近。在 0.5 s 突加负载时,转速突降但又迅速恢复,表现出对负载扰动具有很强的抗干扰能力,同时电磁转矩和电流迅速增加,系统很快达到新的稳定状态。从稳态时相电流波形局部放大波形可以看出,三相电流稳态时具有很好的对称性。仿真结果证明本文提出的这种新型交流异步电动机仿真模型的合理性和有效性。

3 结语

在分析异步电动机矢量控制原理的基础上,利用功能强大的仿真软件 Saber 建立了该系统的仿真模型,通过对系统的仿真,验证了系统具有较好的动、静态性能。该模型的建立为异步电动机矢量控制系统提供了一个简便、灵活的试验平台。在这一仿真试验平台下,可以对系统的控制策略或者参数进行灵活地改变,以考察在不同试验条件下电动机的性能,为分析和设计交流异步电动机提供了有效的手段和工具。

参考文献:

- [1]陈伯时. 电力拖动自动控制系统[M]. 北京:机械工业出版社, 1991.
- [2]F. Blaschke. The principle of field orientation applied to the new trans-vector closed-loop control system for rotating field machines [J]. Siemens Review, 1991(39): 1 119-1 127.
- [3]王君艳. 交流调速[M]. 北京:高等教育出版社, 2003.
- [4]许大中, 贺益康. 电机控制[M]. 杭州:浙江大学出版社, 1994.
- [5]纪志成, 薛花, 沈艳霞. 基于 Matlab 交流异步电机矢量控制系统的仿真建模[J]. 系统仿真学报, 2004, 16(3): 384-389.
- [6]王俊柳, 王敏, 王颖. 基于 MATLAB 的异步电动机仿真试验平台[J]. 计算机仿真, 2002(7).
- [7]崔培良, 赵克友. 基于 MATLAB/Simulink S-Function 感应电机矢量控制仿真建模[J]. 系统仿真学报, 2005(11): 86-89.
- [8]Jehudi Maes, Jan A. Melkebeek. Speed-sensorless Direct torque control of induction motors using an adaptive flux observer [J]. IEEE Trans. Industry Application, 2000, 36: 778-785.

作者简介: 周松林(1975-), 硕士学位, 讲师, 1998 年本科毕业于安徽大学自动化系, 2005 年研究生毕业于合肥工业大学, 研究方向为电力电子及电力传动, 现为铜陵学院电气工程系教师, 发表论文章多篇。

收稿日期: 2007-05-09

进行疲劳断裂问题模拟计算。该过程相对复杂,工程实际应用上有一定难度,计算准确性也难以保证。(2)使用专业的断裂分析有限元软件,如 NASGRO,AF-GROW 等,它们可以进行较为全面的断裂问题计算,计算精度也很高,但是价格十分昂贵。FRANC3D 与它们相比,操作相对简单、价廉,涉及断裂问题也很全面,便于广泛应用。

1 FRANC3D 软件介绍及相关原理

FRANC3D 是由美国 Cornell 大学断裂工作组开发,基于工作站的一套分析软件,它是由立体对象建模器 OSM (Object Solid Modeler), 断裂分析器 FRANC3D(Fracture Analysis Code in 3Dimensions)以及边界元系统 BES (Boundary Element System)组成。它的具体说明可见文献[8],下面就其疲劳裂纹扩展分析原理作简要说明。

(1) 裂纹断裂判定依据

对于复合型裂纹断裂判定准则主要有 3 种:最大周向应力准则、能量释放率准则和应变能密度因子准则。在 FRANC3D 中,使用最大周向应力准则作为断裂判据确定裂纹扩展方向,即裂纹将沿最大周向应力的方向,同时即剪应力为 0 方向进行开裂。当此方向的周向应力达到临界值时,裂纹失稳扩展。

(2) 裂纹扩展后新前缘面的形成

在 FRANC3D 中,裂纹未扩展前其前缘已被离散成许多点,然后使用最大周向应力准则二维平面应变方程确定这些点的扩展方向,它们的扩展尺寸则由各点相对应力强度因子的大小和用户确定的最大扩展尺寸共同决定,以 I 型裂纹为例其示意图如图 1 所示。裂纹扩展量

$$a_i = a_{\max} \left[\frac{K_I}{K_{I\max}} \right]^b$$

式中 $a_{\max}$ ——最大扩展尺寸;
 K_I ——I 型裂纹应力强度因子;
 b ——自定参数。

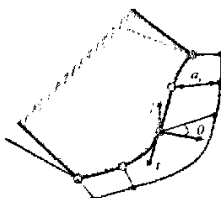


图 1 裂纹扩展示意图

这些扩展后的点通过多项式拟和成平滑曲线,最后重新组成新的裂纹面,以椭圆形裂纹为例,新裂纹面形成过程如图 2 所示。

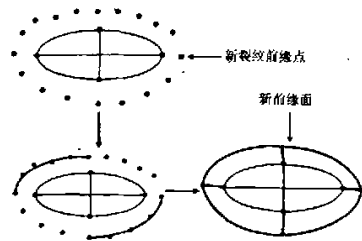


图 2 新裂纹面形成过程

(3) FRANC3D 计算疲劳裂纹开裂的步骤

使用有限元方法对疲劳开裂问题进行计算是一个十分复杂的过程,用 ANSYS, ABAQUS 等非专业断裂软件,许多步骤要进行手动操作,用 FRANC3D 则可以大大简化,图 3 为计算疲劳断裂问题的一个完整过程。

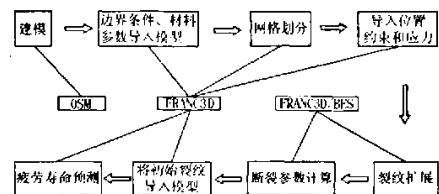


图 3 FRANC3D 疲劳断裂问题分析过程

2 应用实例

为了验证 FRANC3D 预测疲劳裂纹寿命和扩展路径的准确性,在 FRANC3D 中对实验中含初始裂纹梁模型进行模拟计算,并将实验结果和计算结果进行对比。该实验的试样材料为 2219-T851 铝合金材料,半圆形表面裂纹沿梁中心轴转 45°,偏梁中心距离为 6 mm,实验装置与模型尺寸如图 4 所示。梁受到的疲劳载荷的应力比 $R = 0.214$, 4 点弯矩载荷幅度为 $\Delta M = 15.56 \text{ kNm}$ 。

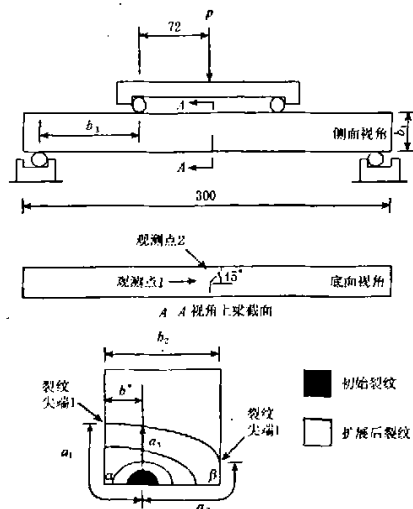


图 4 4 点弯矩疲劳断裂实验示意图

基于 Simulink 的多自由度机械振动系统仿真

匡伟春¹, 张柏清¹, 张传才²

(1.景德镇陶瓷学院, 江西 景德镇 333001; 2.西安建筑科技大学, 西安 710055)

摘要:针对多自由度机械振动问题,以弹簧质量系统、轴上带有若干圆盘的扭转振动系统和梁上有集中质量的横向振动系统为例,详细介绍在 Matlab/Simulink 平台上利用状态空间法进行多自由度系统仿真的方法及步骤,并对仿真结果进行了分析。

关键词:多自由度; 机械振动; Simulink; 仿真; 状态空间

中图分类号: TP391; TH113.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-0794(2007)12-0054-04

Simulation of Mechanical Vibration Multi - DOF System Based on Simulink

KUANG Wei - chun¹, ZHANG Bai - qing¹, ZHANG Chuan - cai²

(1. Jingdezhen Ceramic Institute, Jingdezhen 333001, China; 2. Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

Abstract: Aim at mechanical vibration multi - DOF system, taking spring - mass system, shaft with several disk torsional vibration systems and beam with concentrated load transverse vibration system as examples, introduces the method how to simulate of mechanical vibration multi - DOF system based on Simulink. At last, simulation results are analyzed.

Key words: multi - DOF; mechanical vibration; Simulink; simulation; state - space

0 引言

近年来,许多学者在机械振动系统仿真方面做了大量研究工作。文献[2]以弹簧-质量系统为力学模型,用传递函数法对单自由度系统仿真进行研究;文献[3]利用传递函数法对二自由度机械振动系

统进行了仿真研究;同样是以二自由度系统为研究对象,文献[4]利用的是状态空间法。但是,对多自由度机械振动系统进行 Simulink 仿真研究的很少。本文以多自由度机械振动系统为研究对象,以弹簧质量系统、轴上带有若干圆盘的扭转振动系统和梁

实验中梁高 $b_1 = 48$ mm, 宽 $b_2 = 36$ mm, $b_3 = 75$ mm, $b^* = 12$ mm。在计算中,疲劳裂纹扩展速率模型选用 Forman - Newman - de Koning 模型,材料参数 $C = 1.1 \times 10^{-9}$, $n = 3.79$ 。特别指出的是,FRANC3D 提供疲劳裂纹扩展速率模型还有常用 Paris 和 SINH 模型。在 FRANC3D 计算中,整个裂纹扩展过程设定为 15 步,从图 5 中可以看到,当裂纹扩展从第 6 到第 7 步时,裂纹前缘到达 α 拐角,当从 13 步到 14 步时,到达 β 拐角。 a_1 和 a_2 为裂纹扩展到最后梁表面裂纹长度。

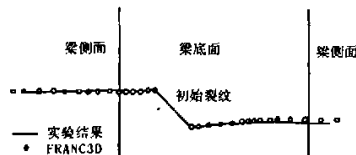


图 5 裂纹扩展路径与 FRANC3D 预测的十分吻合

从图 5 梁表面实际断裂路径与 FRANC3D 预测轨迹以及表 1 中实验值与 FRANC3D 预测值对比,可以看出 FRANC3D 无论在预测疲劳裂纹寿命还是扩展路径基本的结果都是可以接受的。

表 1 实验值与 FRANC3D 预测值对比

裂纹扩展位置	实验值	FRANC3D	误差/%
α 角(cycles)	126 800	140 000	9.4
β 角(cycles)	171 000	170 000	-0.5
最终长度(cycles)	175 000	190 000	8.5
a_1 /mm	30.24	34.08	12.7
a_2 /mm	33.12	32.16	-2.8

参考文献:

- [1] Lin X. B. et. al.. Numerical prediction of fatigue crack growth of a surface defect[J]. Fatigue Fract. Engng Mater. Struct., 1995(18):247 - 256.
- [2] 贾超, 张树壮. 三维裂纹扩展仿真[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(12):3 399 - 3 402.
- [3] 刘青峰, 谢基龙, 缪龙秀. 半椭圆表面裂纹的有限元仿真[J]. 计算机辅助工程, 2006, 15(1):400 - 403.
- [4] OSM Menu and Dialog Reference[EB]. <http://www.cfd.comell.edu/>, 2003.
- [5] FRANC3D/OSM 3D Tutorial[EB]. <http://www.cfd.comell.edu/>, 2003.
- [6] FRANC3D Concepts/Users Guide[EB]. <http://www.cfd.comell.edu/>, 2003.
- [7] FRANC3D/OSM Overview Sides[EB]. <http://www.cfd.comell.edu/>, 2003.
- [8] 贾学明, 王启智. 三维断裂分析软件 FRANC3D[J]. 计算力学学报, 2004, 21(6):764 - 768.

作者简介: 刘斌(1983 -), 安徽肥东人, 南京工业大学硕士研究生, 从事工程设备的疲劳与断裂等研究, 电话: 025 - 83587756, 电子邮箱: sdq123636465@163.com.

收稿日期: 2007-07-14