

技术简讯

关于一种宏观疲劳裂纹扩展特性假说的探讨

韩玉林

(南京航空航天大学测试工程系, 南京, 210016)

HYPOTHESIS ABOUT MACRO-CRACK FATIGUE PROPAGATION CHARACTERISTICS

Han Yulin

(Measurement and Testing Department, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing, 210016)

摘要 提出一个关于宏观疲劳裂纹扩展特性的假说:用不同的方法分析宏观疲劳裂纹扩展数据,宏观疲劳裂纹扩展可以表现出不确定性和确定性两种不同的特性。给出一种图形分析法,并用该方法分析了16MnR钢板的16套宏观疲劳裂纹扩展实验数据,分析结果验证了该假说。

关键词 疲劳 宏观裂纹 裂纹扩展 不确定性 确定性

中图分类号 TG111.8

Abstract A hypothesis about macro-crack fatigue propagation characteristics is presented. The hypothesis proposes that macro-crack fatigue propagation can show two kinds of opposite characteristics, non-deterministic and deterministic, if macro-crack fatigue propagation data are analyzed by different ways. A graphical analysis method is developed in this paper. Then the method is used to analyze 16 sets of macro-crack fatigue propagation experiment data of 16MnR steel plate. The analysis results verified the hypothesis.

Key words fatigue, macro-crack, crack propagation, non-determinacy, determinacy

众多试件在相同条件下的宏观疲劳裂纹扩展曲线(载荷循环次数-裂纹尺寸曲线称N-a曲线)在一幅图上不是一根曲线而是一族曲线。这是裂纹扩展的一种不确定性特征。统计分析方法^[1]、随机模拟方法^[2]、混沌学说^[3]、分形理论^[4]等已被用来分析这种不确定性特征。本文提出一个假说,指出从不同的角度观察疲劳裂纹扩展,裂纹扩展可以表现出不确定性和确定性两种相反的特征。本文介绍一种图形分析法^[5],用这种方法分析16套疲劳裂纹扩展实验数据^[6],发现了裂纹扩展的一种确定性特征。

1 一种关于宏观疲劳裂纹扩展特性的假说

假说 按常规方法研究宏观疲劳裂纹扩展数据,疲劳裂纹扩展表现出不确定性特性;当采用适宜的方法时,同样的裂纹扩展数据,可以表现出有意义的确定性特性。

所谓的常规方法指文献[1~4]等使用的方法。本文将给出一种图形分析法^[5],使用这种方法可以发现疲劳裂纹扩展的一种有意义的确定性特性。

2 宏观疲劳裂纹扩展实验数据

文献[6]给出16块试板(14块双向试板,2块单向试板,如图1和图2)的宏观疲劳裂纹扩展实

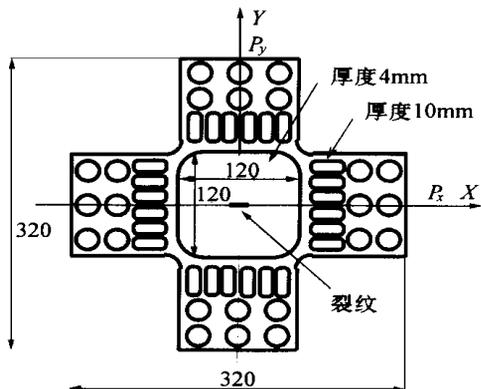


图1 双向试板

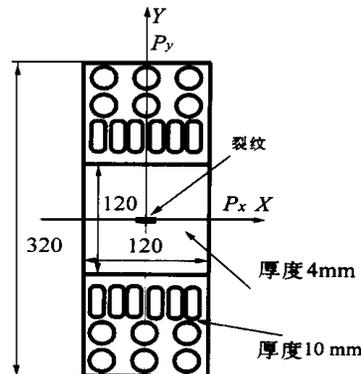


图2 单向试板

验数据。试板由 16MnR 钢板制成, 都预制有 I 型裂纹。实验在日本制造的电液伺服双轴向疲劳试验机上进行。交变载荷频率是 10Hz。恒幅交变应

力的应力比为 0.05。实验环境是常规空气。裂纹沿 X 轴方向扩展(图 1, 图 2)。实验的主要参数见表 1。

表 1 文献[6]疲劳裂纹扩展实验主要参数*

类别号	载荷 P_x/P_y	裂纹方向与轧制方向	试板形式	$P_{y\max}/kN$	$P_{y\min}/kN$	曲线 m_i (试板号)	曲线 t (试板号)
1	1	⊥				8, 12, 16, 17	17
2	0.5	⊥	双轴	98.1	4.9	2, 3, 4, 18	18
3	0.5	//				1, 11, 13	11
4	0	⊥				5, 7, 14	7
5	0	⊥	单轴	78.5	3.9	20, 21	21

* P_x 是沿 X 轴方向的载荷; P_y 是沿 Y 轴方向的载荷 (图 1 和图 2)

上述实验数据存在着疲劳裂纹扩展的不确定性特征。图 3、图 4 是其两例。

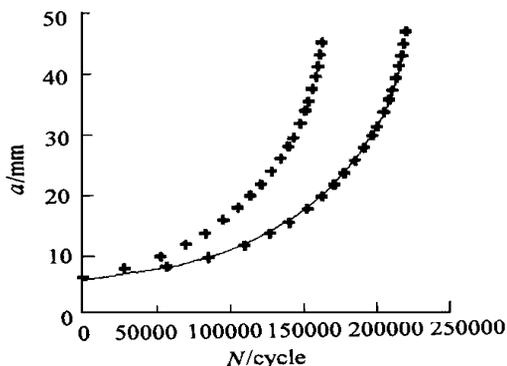


图 3 试件 8(m_i) 和试件 17(t)

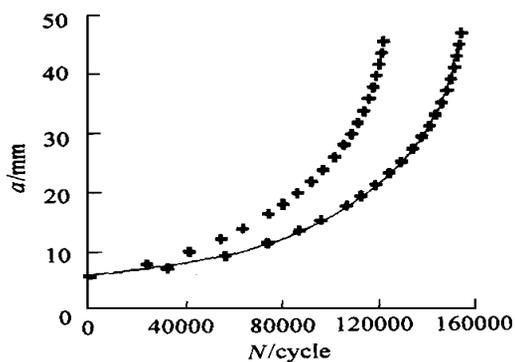


图 4 试件 5(m_i) 和试件 7(t)

3 图形分析法^[5]

第一步 将同种材料试件在相同条件下实验所得的所有 N-a 曲线归入一类。其中交变载荷次数最大的 N-a 曲线称为 t 曲线。其它曲线称为 m_i ($i=1, 2, 3, \dots$) 曲线。

第二步 根据实验数据, 将 m_i 和 t 曲线画于一幅图上。用符号 "+" 表示 m_i 曲线上的数据点, 用直线连接相邻的 t 数据点, t 在图中表现为曲

线。
第三步 沿纵横两轴方向平移 m_i 去覆盖部分或全部 t。平移后的 m_i 称作 m'_i 。图中也用符号 "+" 表示 m'_i (参见图 3、图 4), 但 m'_i 比 m_i 靠近 t。如果全部或绝大部分 m'_i 能够很好地覆盖部分或全部 t, 那么就取被覆盖的那部分 t (也可以是全部 t) 为 t_i , 显然 $t_i = m'_i$ 。如果对每一 m_i 都能找到相应的 t_i , 那么这种现象就是宏观疲劳裂纹扩展的一种特性, 显然这是一种确定性特征。

4 实验数据分析

按本文的图形分析法, 上述的 16 套数据可划分成 5 类 (见表 1), t 曲线已在表 1 中示出。使用图形分析法分析上述数据, 分析结果表明对每一 m_i 曲线都能找到相应的 t_i 曲线, 使 $t_i = m'_i$ 。图 3 和图 4 是其中两例。图形分析工作在计算机上完成。

5 结论与讨论

本文给出一个假说, 该假说指出从不同的角度观察宏观疲劳裂纹扩展, 裂纹扩展可以表现出不确定性和确定性两种相反的特征。

本文介绍了涉及双轴向和单轴向两种试件的 16 套疲劳裂纹扩展实验数据。从常规角度看, 这 16 套裂纹扩展数据表现出显著的不确定性特征。

本文开发了一种图形分析法, 并使用这种方法分析了上述 16 套疲劳裂纹扩展数据, 发现了疲劳裂纹扩展的一种有意义的确定性特性。这意味着: ' 在公认的疲劳裂纹扩展不确定性特征背后可能隐藏着重要的确定性特征; ° 两种相互对立的性质可以同时存在于一个事物中; » 需要研究、提出疲劳裂纹扩展的新模型、新机制。

参 考 文 献

of fatigue crack propagation. Trans ASME J Engng Mater & Tech, 1979, 101: 148~153

- 2 Ortiz K, Kiremidjian A S. Stochastic modeling of fatigue crack growth. Engng Fract Mech, 1988, 29(3): 657~676
- 3 Pook L P. On fatigue crack paths. Int J Fatigue, 1995, 17(1): 5~13
- 4 谢和平, 黄约军, Stein E. 分形裂纹扩展对材料疲劳行为的影响. 机械强度, 1996, 18(1): 1~5
- 5 韩玉林. 电液伺服复合材料结构实验系统的研制与疲劳裂纹扩展的确定性特征假说:[学位论文]. 南京: 南京航空航天大学

学, 1998

- 6 杨益民. 双轴载荷作用下 I 型疲劳裂纹扩展规律:[学位论文]. 南京: 南京化工大学, 1988



韩玉林 男, 31 岁, 副教授。现在东南大学土木工程学院工程力学系任教(邮编: 210096)。研究兴趣包括疲劳断裂、结构强度、安全监测、安全评估和智能材料与结构等。