

飞机结构声疲劳分析与抗声疲劳设计

张秀义

(沈阳市 725 信箱 3 室, 沈阳, 110035)

SONIC FATIGUE ANALYSIS AND ANTI-SONIC FATIGUE DESIGN OF AIRCRAFT STRUCTURE

Zhang Xiu-yi

(Third faculty of Box 725 of Shenyang, Shenyang, 110035)

摘要 本文应用一种快速分析方法计算了多种飞机典型结构件。用不同结构形状的结构响应频率确定声谱和声疲劳累积损伤率。用一种 DSR (细节声额定值) 系统确定声疲劳品质。文章最后叙述了飞机结构的抗声疲劳设计。

关键词 声疲劳, 累积损伤率, 细节声额定值, 结构响应频率, 声疲劳品质

Abstract Sonic fatigue is a phenomenon whereby noise forces structure to vibrate and develop cracks. Many kinds of the typical structural specimens of aircraft are calculated in this paper by use of a quick analysis method. The main characteristics of the method are: Various noise spectrum shapes can be accommodated. Structural response frequency expressions for different structural configurations define the response in the acoustic spectrum and sonic fatigue damage accumulation rate. Unit stress response expressions for different structural configurations define panel stress response for unit loading. A DSR (Detail Sonic Rating) system is used to define structural sonic fatigue quality. The anti-acoustic fatigue design of aircraft structure discussed in the paper.

Key words sonic fatigue, damage accumulation rate, detail sonic rating, structural response frequency, sonic fatigue quality

飞机在整个飞行过程中始终伴随着宽频带噪声。飞机结构在高声强作用下将产生动应力响应, 噪声激励所引起的交变应力可导致结构的疲劳损伤, 轻者铆钉松动, 重者将使蒙皮裂纹, 承力件断裂, 严重地影响飞机安全和降低使用寿命, 这就是飞机结构噪声疲劳问题。

1 典型结构件的声疲劳寿命计算

将飞机进气道较大的内蒙皮壁板截取为矩形板, 并带有一定宽度的加筋。蒙皮壁板的厚度、加筋宽度及加筋的截面尺寸对进气道结构来说都具有一定的代表性, 成为典型结构件。

1989年12月30日收到, 1991年7月20日收到修改稿

本文遵照文献[1]方法编制了飞机典型结构件声疲劳寿命计算机程序。简称为DSR法，程序流程图见图1，程序的硬件环境为IBM-PC系列微机，程序语言为FORTRAN语言。

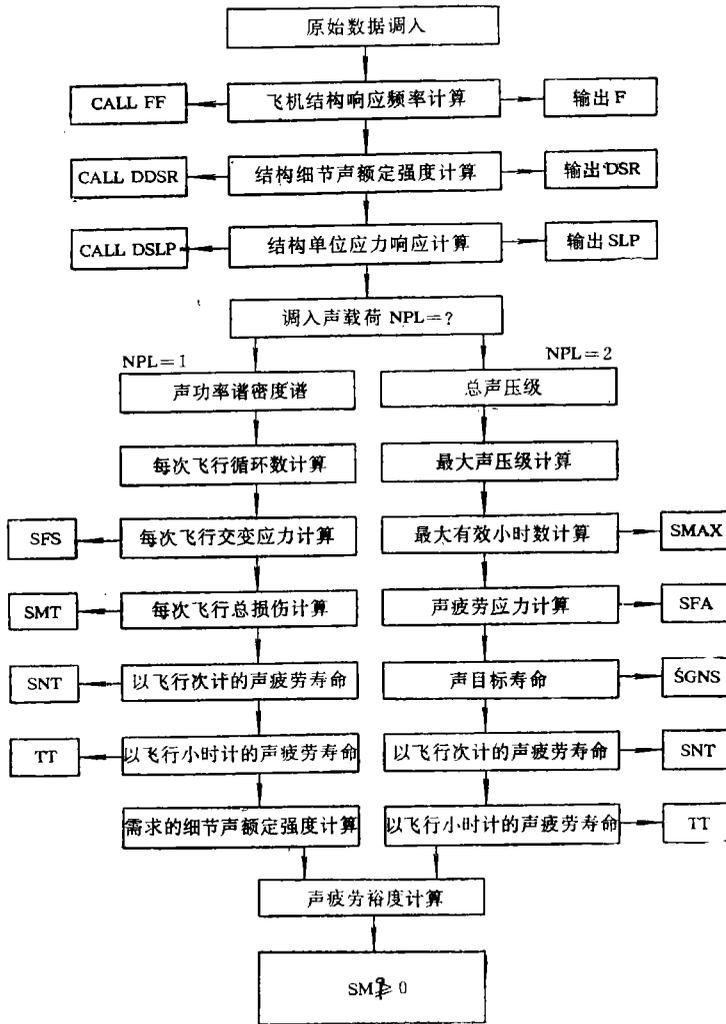


图 1 DSR 法程序流程图

DSR 法用不同结构构形的响应频率表达式确定在声谱中的响应及声疲劳损伤累积率；用不同结构构形的单位应力响应表达式确定壁板在单位载荷下的应力响应；用细节声额定强度系统确定结构声疲劳品质。

在 DSR 法中修正系数是以曲线形式给出，这些曲线只与板的形状比有关。在程序中已将曲线编入。计算时只要按程序要求给出板的长度、宽度、厚度，则曲线子程序便可算出各种修正系数，进而求出结构响应频率，声应力响应、细节声额定强度及结构声疲劳寿命。

本文用 DSR 程序计算了 10 多种飞机典型结构件，结构型式为平板、曲板、加筋板、蜂窝板等；声载荷为总声压级与声功率谱密度谱。并计算了在相同声压级载荷下平板、曲

板、蜂窝板的声疲劳寿命,计算结果列于表1。

表1 典型结构件声疲劳寿命计算

序号	结构型式	材料	声载型式 (dB)	基本响应频率 (Hz)	DSR 系数 (MPa)	破坏时间 (min)
1	曲板	铝	总声压级(126~147)	301.69	745.28	7.3×10^4
2	曲板	铝	声功率谱	296.45	745.28	2.38×10^4
3	曲板	钢	总声压级(126~147)	326.34	2231.45	1.42×10^5
4	曲板	钢	声功率谱	326.34	2231.45	4.37×10^4
5	曲板加筋	铝	总声压级(126~147)	316.28	694.29	1.69×10^5
6	曲板加筋	铝	声功率谱	316.28	694.29	4.19×10^4
7	平板开口	钢	总声压级(126~147)	256.76	1736.68	4.33×10^4
8	平板开口	铝	声功率谱	230.58	581.75	3.64×10^4
9	蜂窝	铝	总声压级(126~147)	665.35	315.50	6.06×10^5

2. 典型结构件的声疲劳试验

声疲劳试验件为无加筋铝材平板,板厚为1.2 mm,板四周用螺钉连接。试验设备见图2。

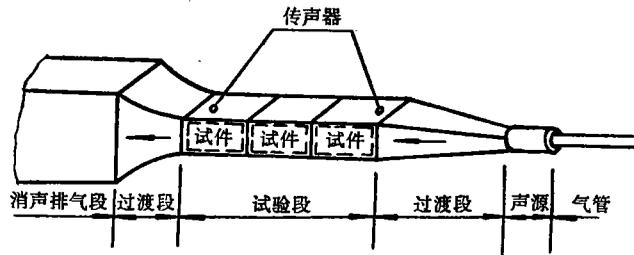


图2 行波管及试件示意图

试验在行波管内进行,行波管利用了声波推进方向中直角方向声强度相同这一原理获得稳定的行波。行波管内声波沿试件板面流向,模拟了飞机进气道的声载荷。

由声源附带的扬声器给试件施加声载荷,总声压级为:151 dB、154 dB、157 dB、160 dB、163 dB等。

试验结果列于表2,并与计算结果比较。

3. 计算结果与试验结果比较

由表2可以看出:典型结构件试验结果比较分散,这是由于影响声疲劳试验结果的因素较多:试件的安装、工艺、材料缺陷以及破坏的检测手段等。但总的来看,计算结果与试验结果比较吻合。且符合承载规律,即同样大小的壁板在边界条件相同的情况下,随着声压级的增高声疲劳寿命急剧下降,声载从151 dB增加到163 dB,声疲劳寿命降低了大约100倍。

4. 飞机结构抗声疲劳设计

(1) 随着飞机飞行高度、速度加大,噪声级提高,飞机结构设计中的抗声疲劳设计问题已提到日程,特别是处于高声强部位,如:螺旋桨平面附近的机身侧壁板、发动机喷

表 2 典型结构件声疲劳寿命试验与计算

结果	结构型式	类别	结构基本响应频率(Hz)	试验结果	计算结果
				总声压级 (dB)	
声 疲 劳 寿 命 (min·s)	平 板 铝 材	151		48.0	54.38
				184'	213'45"
				218'	
		154		218'	100'20"
				82'18"	
				106'18"	
		157		106'18"	50'53"
				31'	
				50'	
		160		31'	10'16"
				50'	
				12'	
		163		4'50"	1'16"
				11'46"	
				1'50"	
				1'40"	
				1'50"	
				2'21"	

口处机尾罩、进气道内蒙皮、机炮炮口附近结构等。在这些部位必须选择抗声疲劳性能高的结构型式。因此，在飞机结构设计初期，应采用工程方法对飞机处于高声强区的结构进行声疲劳分析，在评估多种结构型式基础上，选择抗声疲劳性能最佳的方案。DSR法是工程上声疲劳分析中比较快速与简单的方法之一，可应用于飞机结构设计的图纸打样阶段。

(2) DSR法认为结构损伤产生在低阶共振频率处，即声疲劳损伤主要损伤是由在结构共振响应频率上的声压变化激振所引起的结构谐振而产生的，谐振频率以外的各阶频率上的声压级引起的强迫振动，对声疲劳损伤贡献很小。因此，应首先分析结构固有频率。

飞机上采用的蒙皮长桁壁板结构的固有频率一般都在2000 Hz频率范围内。文献[2]指出：喷气噪声谱和发动机噪声谱中的谱峰也包括在此频率范围内。因此如何将结构基本固有频率避开声频谱峰频率是抗声疲劳设计的主要问题。

(3) 计算得出：在同样声载荷下尺寸相同的板，蜂窝结构的声疲劳寿命比加筋板高8倍；曲板比平板高10倍多。声疲劳试验同样表明：泡沫塑料夹层结构、蜂窝夹层结构、

垫块夹层结构抗声疲劳性能最佳;其次为滚焊、化铣壁板;最差的为蒙皮铆接结构。因此,在飞机结构设计中,特别是在高声强部位,应尽量避免抗声疲劳性较差的结构型式。

参 考 文 献

- 1 航空工业部科学技术情报研究所,飞机结构耐久性 & 损伤容限手册,第三册,1989
- 2 饭田宗四郎,Acoustic Fatigue.译自日本航空宇宙学会志.1975;(8)9~19

上接A192页

续表

序号	项目名称	时间	人数	地点	筹办单位及联系人	备注
33	第三届技术经济分析学术交流会	10月	40人	待定	航空航天部六二〇所 袁克余(100712)	—
34	计算机辅助生产管理研讨会	5月	50人	待定	航空航天部生产调度司 姜节浩(100712)	—
35	工资制度改革研讨会	一季度	60人	待定	航空航天部人劳司 阮一(100712)	—
36	工厂安全性评价研讨会	三季度	~50人	待定	沈阳航空学院 赵永春 (110031)	—
37	质量审核研讨会	6月	30人	上海	上海5703厂质保部张慧民 (200436)	—
38	轻型飞机飞行技术与应用交流会	5月	60	大同	中国航空学会张汝煊 (100029)	与国家体委联合主办
39	轻型飞行器发展与应用联络站成立学术讨论会	2~3月	—	宁波	江苏常州382厂徐开磨 (213016)	—
40	计量测试自动化技术交流会	三季度	80~100人	待定	航空航天部二院二〇三所 任殿卿	—
41	第三届动态计量测试年会	三季度	50~60人	待定	航空航天部三〇四所 靳书元(100095)	—
42	测试专业委员会1992年学术年会	9月	60~80人	北京	航空航天部六三四所 李振远、王茹林(100022)	和《测控技术》杂志联合召开
43	测控技术在航空工业发展战略中的地位与作用	7月	40人	江油	航空航天部六三四所 杨廷善(100022) 六二八所梁煊(100029)	—
44	标准化系统工程研讨会	四季度	40人	待定	航空航天部301所 赵承曾(100028)	—
45	材料热工艺标准化研讨会	6月	—	贵州平坝	航空航天部170厂 (561114) 航空航天部621所 冯维熹(100095)	与航空航天部材料热工艺标准化技术归口单位联合召开
46	疲劳损伤理论研讨会	5月	40~50人	待定 (厦门)	西北工业大学五系 吴富民、董小燕(710072)	与中国力学学会联合召开
47	重量工程第四届学术交流会	6月	50人	四川泸定	航空航天部611所孙振家 (成都610041)	—

下转A205页