

QJ

中华人民共和国航天行业标准

FL 1617

QJ 2223A—2006

代替 QJ 2223—1992

液体火箭发动机振动测量数据处理方法

Processing methods for vibration data of liquid rocket engine

2006—12—15 发布

2007—05—01 实施

国防科学技术工业委员会 发布

前 言

本标准代替QJ 2223—1992《液体火箭发动机振动测量数据处理方法》。本标准与QJ 2223—1992相比主要有以下变化：

- a) 删除了信号标定方法和附录 A；
- b) 增加了综合值的计算、冲击响应谱和三维谱的分析；
- c) 增加了数据报告及归档要求。

本标准由中国航天科技集团公司提出。

本标准由中国航天标准化研究所归口。

本标准起草单位：中国航天科技集团公司第一研究院第一〇一研究所。

本标准主要起草人：贾洁、管理、陶行健、孙旭、王晓磊。

本标准于1992年2月首次发布。

液体火箭发动机振动测量数据处理方法

1 范围

本标准规定了液体火箭发动机振动测量数据处理的要求、数据处理方法及数据报告的编写等内容。

本标准适用于液体火箭发动机及其组件试验的振动测量数据处理，也适用于液体推进系统的振动测量数据处理。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包含勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 4883 数据的统计处理和解释 正态样本异常值的判断和处理

GJB 2238—1994 遥测数据处理

3 一般要求

3.1 振动信号分类

振动信号分为以下四类：

- a) 平稳随机振动；
- b) 非平稳随机振动；
- c) 瞬态振动；
- d) 周期振动与随机振动叠加。

3.2 数据处理要求

3.2.1 数据处理要求如下：

- a) 对平稳随机振动进行幅值谱或功率谱密度处理；
- b) 对非平稳随机振动进行三维谱分析；
- c) 对瞬态振动进行冲击响应谱分析；
- d) 周期振动与随机振动叠加的振动信号，按试验任务书的要求进行数据处理或按a)的要求进行处理。

3.2.2 试验任务书有特殊要求时，可进行自相关函数、互相关函数、互谱密度、传递函数和相干函数等的分析工作。

3.3 数据采集处理装置

数据采集处理装置应满足试验任务书的要求，并应满足以下要求：

- a) 模拟信号在采样前应经抗混低通滤波，低通滤波器带外衰减率应不小于 120dB/oct；
- b) 最高分析频率应达到 20kHz；
- c) 具备谱分析细化功能；
- d) 信号采样的频率应达到最高分析频率的 2.56 倍以上；
- e) 模数转换器的位数不低于 16 位。

3.4 数据处理依据

数据处理依据的文件如下：

- a) 试验任务书和试验大纲；
- b) 参数测量系统现场原始记录。

4 振动数据处理

4.1 预处理

4.1.1 在数据采集处理系统中对振动信号进行时域观测，判断信号的真伪及干扰的严重程度。

4.1.2 对信号波形畸变、限幅和幅度突然变化等区段，判断是否由测量系统故障所造成。

4.1.3 对发动机点火前后的记录结果进行比较，判断是否存在测量系统或控制系统造成的干扰。

4.1.4 根据 4.1.1~4.1.3 判断，确定合理的信号处理时间区段。

4.1.5 采用高通数字滤波或其他方法去除趋势项。

4.1.6 平稳段所有采样值按 GB/T 4883 的规定剔除异常数据。

4.2 数据处理方法

4.2.1 幅值谱的计算

4.2.1.1 对数字时间序列 X_n 按公式 (1) 进行傅立叶变换：

$$X_k = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} X_n e^{-j \frac{2\pi nk}{N}} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- X_k ——数字时间序列 X_n 的傅立叶系数；
- N ——每帧的时间信号采样点数， N 为 2 的整数幂；
- n ——时域点序 ($n=0,1,2,\dots, N-1$) ；
- X_n ——点序为 n 的时间信号采样值；
- k ——频域点序 ($k=0, 1, 2, \dots, N/2-1$) 。

4.2.1.2 幅值谱按公式 (2) 计算：

$$A_{sk} = 2\sqrt{(X_{kr})^2 + (X_{ki})^2} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- A_{sk} ——幅值谱值；
- X_{kr} —— X_k 的实部；
- X_{ki} —— X_k 的虚部。

4.2.1.3 根据试验任务书的要求选取平均谱或极值谱；选取平均次数计算平均谱，使用峰值保持功能计算极值谱。

4.2.2 综合值的计算

4.2.2.1 均方根值按公式 (3) 计算：

$$X_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N X_n^2} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

- X_{rms} —— X_n 的均方根值。

时间区段的选取按试验任务书的要求。

4.2.2.2 最大值按公式 (4) 计算:

$$X_{\max} = \max \{ |X_n| \} \dots\dots\dots (4)$$

式中:

X_{\max} —— X_n 的最大值。

4.2.3 功率谱密度的计算

采用直接傅立叶变换按公式 (5) 计算功率谱密度:

$$G_k = \frac{2\Delta t}{N} |X_k|^2 \dots\dots\dots (5)$$

式中:

G_k —— 功率谱密度;

Δt —— 时域采样相邻点时间间隔。

功率谱密度计算时, 推荐使用汉宁 (Hanning) 谱窗, 频率分辨率选取按试验任务书的要求。

4.2.4 加窗的修正计算

与傅立叶变换有关的计算中选用谱窗, 应对谱值进行加窗修正计算, 不同的谱窗其修正系数不同。如选用汉宁 (Hanning) 谱窗时, 功率谱密度的谱值应乘以系数2.67。

4.2.5 自相关函数的计算

自相关函数可通过对功率谱密度做逆傅立叶变换得到, 也可按公式 (6) 计算:

$$R_r = \frac{1}{N-r} \sum_{n=0}^{N-1-r} X_n \cdot X_{n+r} \dots\dots\dots (6)$$

式中:

R_r —— 自相关函数;

r —— 滞后数 ($r=0, 1, 2, \dots, m$)。

4.2.6 互谱密度的计算

互谱密度按公式 (7) 计算:

$$G_{k,x1,x2} = \frac{2\Delta t}{N} |X_{k,x1}^* \cdot X_{k,x2}| \dots\dots\dots (7)$$

式中:

$G_{k,x1,x2}$ —— 时间信号 $X_1(t)$ 和 $X_2(t)$ 的互谱密度;

$X_{k,x1}^*$ —— $X_{k,x1}$ 的共轭复数;

$X_{k,x1}$ —— $X_{n,x1}$ 的傅立叶系数;

$X_{n,x1}$ —— $X_1(t)$ 的数字时间序列;

$X_{k,x2}$ —— $X_{n,x2}$ 的傅立叶系数;

$X_{n,x2}$ —— $X_2(t)$ 的数字时间序列。

4.2.7 互相关函数的计算

互相关函数可通过对互谱密度做逆傅立叶变换得到, 也可按公式 (8) 计算:

$$R_{r,x1,x2} = \frac{1}{N-r} \sum_{n=0}^{N-1-r} X_{n,x1} \cdot X_{n,x2} \dots\dots\dots (8)$$

式中:

$R_{r,x1,x2}$ ——信号 $X_1(t)$ 和 $X_2(t)$ 的互相关函数。

4.2.8 传递函数的计算

传递函数按公式 (9) 计算:

$$H_{k,x1,x2} = \frac{G_{k,x1,x2}}{G_{k,x1}} \dots\dots\dots (9)$$

式中:

$H_{k,x1,x2}$ —— $X_1(t)$ 为输入、 $X_2(t)$ 为输出时的传递函数;

$G_{k,x1}$ —— $X_1(t)$ 的功率谱密度。

4.2.9 相干函数的计算

相干函数按公式 (10) 计算:

$$r_{k,x1,x2}^2 = \frac{|G_{k,x1,x2}|^2}{G_{k,x1} \cdot G_{k,x2}} \dots\dots\dots (10)$$

式中:

$r_{k,x1,x2}^2$ —— $X_1(t)$ 和 $X_2(t)$ 的相干函数;

$G_{k,x2}$ —— $X_2(t)$ 的功率谱密度。

相干函数计算时, $G_{k,x1,x2}$ 、 $G_{k,x1}$ 和 $G_{k,x2}$ 均应数次取值进行平均, 次数根据试验任务书或精度要求确定。

4.2.10 幅值倒频谱的计算

幅值倒频谱按公式 (11) 计算:

$$C_u = \left| \sum_{k=0}^{N-1} (\lg G_k) e^{-j \frac{2\pi nk}{N}} \right| \dots\dots\dots (11)$$

式中:

C_u ——幅值倒频谱。

4.2.11 冲击响应谱的分析

4.2.11.1 采用改进的递规数字滤波法计算冲击响应谱, 计算方法参见 GJB 2238—1994 附录 K 中 K3。

4.2.11.2 冲击响应谱分析时的参数选择原则如下:

- a) 采样频率应不小于分析最高频率的 4 倍;
- b) 计算冲击响应谱时不用窗函数;
- c) 分析频率点一般选 1/6 倍频程, 对谱形变化不大的可用 1/3 倍频程;
- d) 若有结构的阻尼数据时, 可用实测值; 若没有实测值时, 阻尼比一般取 0.05。

4.2.12 三维谱的分析

4.2.12.1 时间三维谱

根据试验任务书的要求对发动机试验的起动段或故障段振动参数进行时间三维谱分析。根据设备具体情况和要求选取时间步长和同时显示频谱的帧数。

4.2.12.2 转速三维谱

根据试验任务书的要求对发动机试验的起动段或故障段旋转机械振动参数进行转速三维谱分析。转速的步长和显示频谱的帧数根据设备能力及旋转机械的额定转速来确定。

5 数据报告

5.1 数据报告要求

5.1.1 数据报告要求如下：

- a) 内容的完整性应符合试验任务书的要求；
- b) 对数据报告中的异常数据给予文字说明。

5.1.2 数据报告的内容如下：

- a) 试验目的、内容、试验情况及数据结果说明；
- b) 试验地点、时间及试验代号；
- c) 振动参数汇总表；
- d) 振动参数频谱数值表。

5.2 归档

试验结束后，对振动原始数据和数据报告进行归档。

中华人民共和国航天行业标准
**液体火箭发动机振动测量数据
处理方法**
QJ 2223A—2006

*

中国航天标准化研究所出版
北京西城区月坛北小街2号
邮政编码：100830

北京航标印务中心印刷
中国航天标准化研究所发行

版权专有 不得翻印

*

2007年5月出版
定价：8.00元