

# 农用运输车的载荷谱及应用

李晋善 薛广兰  
(山东工程学院)

**摘要** 农用运输车的随机载荷可采用其均值、幅值二维随机变量描述,只要载荷均值和对数幅值的均值与标准差确定,就完全决定了载荷的统计特性。该文还列举了载荷谱的某些应用。

**关键词** 农用运输车 载荷谱 应用

## 1 农用运输车的载荷统计特性

### 1.1 载荷与载荷谱

农用运输车工作时,由于路面、土壤的不均匀性以及机件不平衡惯性力的作用,其承受载荷的大小、次数及频率,具有随机性质。其特点是:载荷大小不可预测,不会重复,数值没有确定的函数表达式。如图 1 所示。

在短期工作中这种随机载荷出现与否,从表面上看纯由偶然因素支配。但在大量重复作业中,随机载荷变化情况有其内在的统计规律性,根据随机过程理论,应用概率统计方法,对记录下的随机载荷经数据处理后,可得出其内在的统计特性即载荷谱。表示这种特性的常见型式有:载荷累积频次直方图,谱密度图,相关函数图及概率密度与分布函数等,如图 1、2 所示。它们从不同领域表示载荷的统计规律,说明载荷最基本的特性。

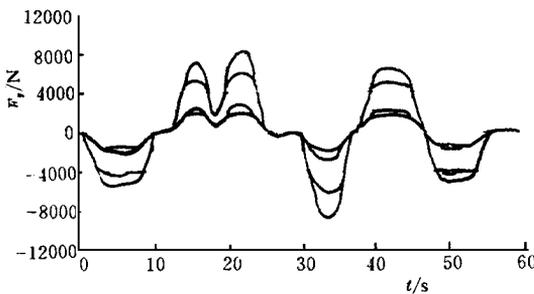


图 1 农用运输车在连续弯路上车轮的侧向载荷(四个车轮)

Fig 1 The lateral load of wheels when the farm vehicle runs on continuous crooked road (four wheels)

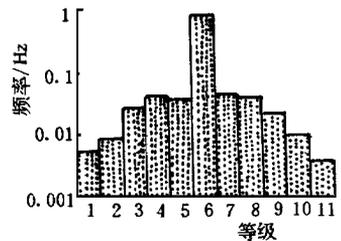


图 2 右后轮垂直载荷分布

Fig 2 Vertical load distribution of the right rear wheel

### 1.2 随机载荷的二维随机变量描述

实践证明,农用运输车的大多数零件经过长期、多次传递转矩,正常的破坏形式为疲劳损坏,而尖峰载荷引起的意外破坏并不常见。从疲劳损伤的观点来看,农用运输车的随机载荷可以看成是按随机次序排列的一系列大小不同的载荷循环组合而成。对于每一个载荷可用均值

收稿日期: 1999-03-20

李晋善, 副教授, 淄博市共青团西路 山东工程学院汽车系, 255012

T 和幅值 A 两个参数表示, 因此对农用运输车的随机载荷可采用均值、幅值二维随机变量 (T, A) 描述。

### 1.3 概率统计方法

对记录下的随机载荷进行数据处理, 方法可分两大类:

1) 计数法: 统计各种不同大小载荷出现的频次。这种方法没有表明载荷频率发生的次序, 因此不够精确和严密。多用于应力(应变)载荷数据, 其实质是在幅值域内研究, 找出其幅值概率分布及循环计数, 得到载荷直方图。

2) 功率谱法: 求出载荷的功率谱密度函数。表示不同频率下载荷能量分布。这是一种较精确和严密的方法。多用于振动、噪声分析, 其实质是在频率域内研究, 找出其频率结构, 得到功率谱密度图。

以驱动轴的随机载荷(转矩)时间历程为例, 经 A/D 模数转换后, 用全峰值计数法检测并把无效幅值省略, 分析载荷的统计规律性。步骤如下:

1) 分别计算峰值、谷值(具体处理时, 可采用“三点比较法”进行峰谷值检测, 并把无效幅值省略的标准定为小于最大载荷变程 10% 的变程幅值)。

2) 取转矩区间  $\Delta T_i$  程序载荷谱的编制采用规范化的分级方法, 把连续变化的载荷谱分为 8 级阶梯载荷谱(在载荷的扩展处理中, 一般认为最大载荷出现的概率为  $10^{-6}$  即把载荷幅值累积频数扩展到  $10^6$ )。

3) 统计各转矩区间峰、谷值出现的次数  $n_i$  对双参数统计时, 可用雨流计数法, 它的计数结果展示了载荷幅值和载荷均值两个参数的对应频数, 通常以变程幅值-均值(A-T)矩阵形式表示。处理时可采用与雨流计数法相等效的“四峰谷值法”和雨流法的第二阶段计数两步进行。对于每一工况的载荷历程可以得到一个  $16 \times 16$  阶的二维(A-T)矩阵。

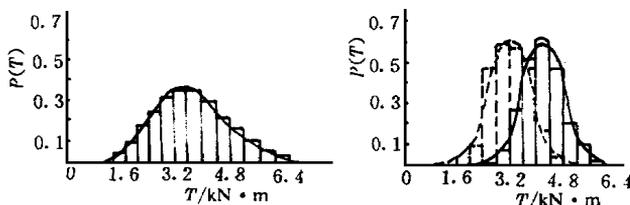


图 3 驱动轮轴上转矩的直方图及概率密度分布曲线

Fig 3 The torque graph and frequency distribution curve

4) 取各转矩区间峰、谷值出现次数与总次数的比值为频度(概率)  $E_i$

5) 取转矩值 T 为横坐标, 概率密度  $E_i/\Delta T$  为纵坐标, 作转矩极值的频度直方图。如图 3 所示。

6) 作出图 3 直方图的拟合曲线, 并通过回归分析作出回归方程  $\frac{E}{\Delta T} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(T_i - T_p)^2}{2\sigma^2}}$

统计资料表明, 在单一作业稳定工况下, 典型载荷子样是平稳的随机样本, 其均值 T 服从正态分布, 幅值 A 服从对数正态分布如图 4。

由此可见, 正态分布这种统计规律具有普遍性, 不因机型大小及作业种类而异。标准正态曲线形状是左右对称, 呈钟形, 对称轴为均值  $T_p$ 。  $T_p$  是位置函数, 数学上称期望值(或加权平均值),  $T_p = \sum T_i E_i$ , 出现在次数最多处, 设计时取期望值较合适。均方根差(标准差)  $\sigma$  是形状参数,  $\sigma = \sqrt{\sum (T_i - T_p)^2 E_i}$ ,  $\sigma$  若增大则会使曲线变平坦。

## 2 模型计算及载荷谱实例

### 2.1 二维正态概率分布模型<sup>[1]</sup>

如图 4 所示,  $B C D E$  面积概率  $P\{t_1 < t < t_2, a_1 < a < a_2\}$

$$= \int_{t_1}^{t_2} \int_{a_1}^{a_2} f_{TA}(t, a) dt da$$

式中  $f_{TA}(t, a)$  为二维联合概率密度函数。由于幅值  $A$  服从对数正态分布, 即  $a_{L1} = \ln a_1, a_{L2} = \ln a_2$ , 则  $P\{t_1 < t < t_2, a_{L1}$

$$< a_{L2}\} = \int_{t_1}^{t_2} \int_{a_{L1}}^{a_{L2}} f_{TA_L}(t, a_L) dt da_L$$

式中  $a_{L1}, a_{L2}$  为  $a_1, a_2$  的对数幅值。

### 2.2 $f_{TA_L}(t, a_L)$ 计算

根据正态随机变量性质, 不相关与相互独立等价, 二维概率密度函数可用条件概率密度函数表示, 即

$$f_{TA_L}(t, a_L) = f_T(t) \cdot f_{A_L}(a_L) = 1/(2\pi\sigma_t\sigma_{a_L}) \cdot \exp\{-1/2[(t - \bar{t})^2/(\sigma_t)^2 + (a_L - \bar{a}_L)^2/\sigma_{a_L}^2]\}$$

式中  $\bar{t}, \sigma_t, \bar{a}_L, \sigma_{a_L}$  分别为  $T$  和  $A_L$  的均值与标准差。

### 2.3 载荷均、幅值二维随机谱与谱矩阵

设载荷出现的总频次为  $\bar{N}$ , 则  $t_1 < t < t_2, a_{L1} < a_L < a_{L2}$  时的频次  $n_{ia}$  为  $n_{ia} = \bar{N} \cdot P_{TA}(t, a_L) = \bar{N} \cdot \int_{t_1}^{t_2} \int_{a_{L1}}^{a_{L2}} f_{TA_L}(t, a_L) dt da_L$

据此将均值、幅值分别分为 8 级就可得到 64 个元素组成的均、幅值二维程序谱矩阵, 每个元素的频次  $n_{ij}$  为  $n_{ij} = \bar{N} f_{TA_L}(t, a_L) \cdot \Delta t_i \Delta a_{Lj} \quad i, j = 1, 2, \dots, 8$

其中  $(t_1, t_2), (a_{L1}, a_{L2}), \Delta t_i, \Delta a_{Lj}$  由程序分级确定

### 2.4 载荷谱实例: 农用运输车山区转向载荷谱<sup>[2,3]</sup>

对农用运输车承载系统来说, 主要的工作载荷是由路面不平度和车辆运动产生的随机载荷。由于道路条件差, 特别是山区转向和制动的运动载荷对其承载系统的使用寿命具有不可忽视的影响。

采用具有 17 个自由度的《车辆—驾驶员—道路》闭环控制运动模型的 DSADZ-1 软件对在连续弯路上车轮的侧向载荷仿真, 结果如图 1。在仿真过程中对载荷数据进行采样, 并利用上述方法分级处理, 可得到载荷分布图。

## 3 载荷谱的某些应用

1) 再现田间使用实验 按照载荷谱对被试零件进行加载, 在室内台架上模拟田间工况, 因而不受自然环境影响, 条件可控制, 快速而准确。

2) 快速模拟疲劳实验 略去次要载荷对零件的影响, 编制程序载荷谱表 1 (如图 5, 加载时省略了 7, 8 两级低幅载荷), 在室内台架上进行快速模拟疲劳实验。也可采用一维变幅值或二维变均幅值随机程序实验。

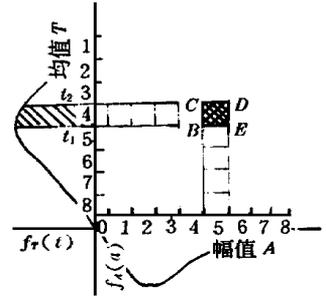


图 4 均值  $T$  服从正态分布, 幅值  $A$  服从对数正态分布

Fig 4 Mean value  $T$  obey to Gaussian distribution and amplitude values  $A$  obey to logarithm Gaussian distribution

图 5 中  $T_p$  —— 载荷谱的总均值, 是各级载荷均值的加权总均值。  $T_p = \frac{\sum_i \sum_j t_{pi} n_{ij}}{\sum_i \sum_j n_{ij}}$ ,  $i, j$  分

别为  $T - T_p$  矩阵的行数和列数。

3) 零件动态设计 根据随机频谱进行设计, 既可靠耐用又节省材料, 是现代设计方法之一。

表 1 左半轴实测载荷

Tab 1 The load of left half shaft in the test

| 级别 | $T_i / \text{N} \cdot \text{m}$ | $n_i$     |
|----|---------------------------------|-----------|
| 1  | 800                             | 11        |
| 2  | 760                             | 1.14E+02  |
| 3  | 680                             | 4.32E+02  |
| 4  | 580                             | 4.713E+03 |
| 5  | 460                             | 4.24E+04  |
| 6  | 340                             | 3.50E+05  |
| 7  | 220                             | 2.85E+06  |
| 8  | 100                             | 8.11E+03  |

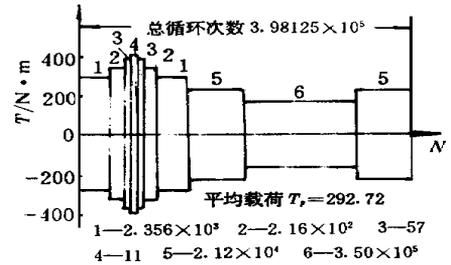


图 5 左半轴疲劳试验谱子程序

Fig 5 The subprogram used for computing the spectrum of the left half shaft fatigue test

## 4 结论

虽然农用运输车路面情况复杂多变, 但在单一路面稳定工况下其典型载荷子样是平稳的随机样本, 可采用二维随机变量描述。其载荷均值为正态概率分布, 幅值为对数正态概率分布。因此知道载荷均值和对数幅值的均值与标准差这 4 个参数, 就确定概率分布模型, 利用正态分布不相关与相互独立等价原理, 可导出其联合概率密度函数。从而完全决定载荷的统计特性。

## 参 考 文 献

- 1 熊坚等 山区汽车转向载荷谱的动态仿真研究 云南工业大学学报, 1998 4
- 2 程悦荪主编 拖拉机设计. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 3 刘珍儒主编 概率与统计. 北京: 石油大学出版社, 1996 5

## The Load Spectrum of Farm Vehicles and Its Applications

Li J inshan Xue Guanglan

(Shandong Institute of Technology, Zibo, 255012)

**Abstract** The random load of farm vehicles can be described by its mean value, amplitude value and two-dimensional random variables. So long as the average value of the load, average logarithmic extents' value and standard deviation (root mean-square deviation) are defined, the statistical characteristics of the load can be determined completely. Some applications of the load spectrum were introduced.

**Key words** farm vehicles, load spectrum, application