

推土机载荷谱研究与开发(VI)

推土机车架纵梁程序加载载荷谱的编制*

成 凯

(吉林工业大学)

张 盾

(辽阳石化化工公司)

黄奎英

郁工瑞

刘述学

(吉林工业大学)

提 要 通过对作用于推土机车架纵梁载荷的平稳性检验, 求出载荷分布的概率密度函数, 进而编制出程序加载载荷谱。

关键词 推土机 车架纵梁 载荷谱

The Programm of Load Spectrum**Applying on Lengthwise Beam of Dozer Frame****The Sixth Paper of Series "Study and Development of Load Spectrum for Dozer"**

Cheng Kai

(Jilin University of Technology, Changchun)

Zhang Dun

(Liaoyang Oil and Chemical Industry Company)

Huang Kui-ying Yu Gong-rui Liu Shu-xue

(Jilin University of Technology)

Abstract Through a stationary test to the steady property of load applying on lengthwise beam of dozer frame, the probable density function of load distribution and the compile programm of load spectrum were given.

Key words Dozer Lengthwise beam of frame Load spectrum

推土机车架纵梁及其与后桥壳体的连接均采用焊接结构, 它的设计出发点是基于保证刚度, 其工作应变较小, 但焊接结构的疲劳强度往往取决于焊缝的质量。检验焊接质量多在试验室内用相应的载荷谱对车架纵梁自身以及它与后桥壳体连接的焊缝进行模拟加载试验。该项技术的实施, 除需要相应的加载用的硬件设备外, 尚需要实用的软件——程序加载载荷谱。用它来规范加载载荷的数值及相应的加载循环次数等。对于车架纵梁在不同作业工况中, 工作载荷的数值特征及变化规律已在文献[1]中作了介绍。本文着重介绍对车架纵梁模拟的程序加载载荷谱的编制方法。

收稿日期: 1996- 11- 11 1997- 10- 20 修订

* 国家“八五”重大引进技术项目

成 凯, 博士生, 副教授, 长春市人民大街 142 号 吉林工业大学工程机械系, 130025

1 车架纵梁工作应变时间历程测试数据的预处理

1.1 平稳性检验

在文献 [1] 中, 车架纵梁的工作应变自功率谱呈连续谱形式说明其具有随机特性。把三种工作物料在推土作业时所测取的 24 个推土作业循环的数据 (不计后退与停车过程) 按时间分成 12 个区间, 每个区间的采样数目取 100 个, 计算其均方值和总体的均方值。然后, 计算每个区间的均方值相对于总体均方值离散程度的轮次数 (指数数据连线通过总体均方值的次数), 计算结果如表 1 所示。取显著水平 $\alpha = 0.05$ 条件下, 查轮次检验表知, 对应轮次数可接受的置信区间为 (2, 9)。上述三种工况的轮次数均落在以上区间内, 所以通过平稳性检验, 可视为平稳随机过程。

表 1 轮次检验数据表

单位: $(\mu\epsilon)^2$

区 间	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	均方值	轮次数
原生土	4186	2088	2705	3147	3852	4101	2506	3127	2447	3996	3721	2473	3196	5
散 料	3881	2994	3115	3466	4036	3217	3039	2531	3914	2716	2458	3173	3454	5
风化岩	3368	3073	3452	2704	3603	4365	3924	3152	3648	2742	3873	3896	3483	5

1.2 统计计数

本文采用较适合于疲劳试验用的统计计数方法——雨流计数法^[2]。其中, 作为例子, 对原生土物料 24 个推土作业循环中测取的时间历程信号进行统计计数, 绘制出均值的频次直方图和幅值的频次直方图。

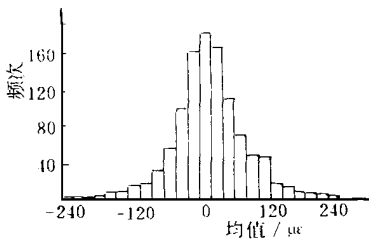


图 1 原生土物料车架纵梁工作应变均值频次直方图

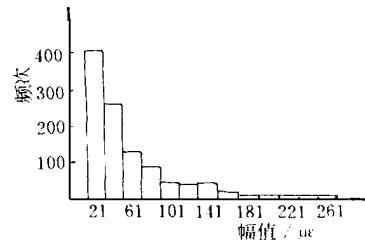


图 2 原生土物料车架纵梁工作应变幅值频次直方图

1.3 幅值、均值联合概率密度函数的建立

1.3.1 幅值、均值相互独立检验

采用 χ^2 检验法来检验幅值与均值是否相互独立。按弗歇定理: 如果二者相互独立, 则由下式所示的随机变量应服从自由度为 $(r - 1)(s - 1)$ 的 χ^2 分布:

$$\chi^2 = n \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^s \frac{(n_{ij} - \frac{n_i \cdot n_j}{n})^2}{n_i \cdot n_j} \quad (1)$$

式中 n ——子样的容量; r ——幅值的分级数; s ——均值的分级数; n_i ——幅值落在第 i 级的频次; n_j ——均值落在第 j 级的频次; n_{ij} ——幅值落在第 i 级, 均值落在第 j 级

的频次。

查统计表知: $\chi_{0.05}^2(13-1)(25-1)$, 即 $\chi_{0.05}^2(288) = 337.4$, 而根据式(1) 计算可得三种物料的 χ^2 值, 均小于 337.4, 所以, 在显著性水平 0.05 条件下, 可认为幅值和均值是相互独立的两个随机变量。

1.3.2 求幅值的概率密度函数

根据图 2 所示的幅值频次直方图的形状和威布尔分布概率坐标纸作图, 可初步估计该变量(用 x 表示)的概率密度函数的形式为威布尔分布, 即:

$$f(x) = \frac{b}{x_a - x_0} \left(\frac{x - x_0}{x_a - x_0} \right)^{b-1} \exp \left\{ - \left(\frac{x - x_0}{x_a - x_0} \right)^b \right\} \quad (2)$$

式中 x_0 —— 予期最小值; x_a —— 特征参数; b —— 形状参数。

进而依靠自编的计算机程序进行拟合以确定式(2)中的参数 x_0 , x_a 和 b 。即求得三种物料工况幅值的概率密度函数如下:

原生土:

$$f_1(x) = \frac{1.1}{34.67} \left(\frac{x - 20.42}{34.67} \right)^{0.1} \exp \left\{ - \left(\frac{x - 20.42}{34.67} \right)^{1.1} \right\} \quad (3)$$

松散物料:

$$f_2(x) = \frac{1.07}{36.01} \left(\frac{x - 24.03}{36.01} \right)^{0.07} \exp \left\{ - \left(\frac{x - 24.03}{36.01} \right)^{1.07} \right\} \quad (4)$$

风化岩:

$$f_3(x) = \frac{1.05}{38.52} \left(\frac{x - 27.31}{38.52} \right)^{0.05} \exp \left\{ - \left(\frac{x - 27.31}{38.52} \right)^{1.05} \right\} \quad (5)$$

1.3.3 求均值的概率密度函数

根据图 1 中所示的均值频次直方图形状和用正态分布概率坐标纸作图, 可初步估计该变量(用 y 表示)的概率密度函数的形式为正态分布, 即:

$$f(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp \left\{ - \frac{(y - \mu)^2}{2\sigma^2} \right\} \quad (6)$$

进而依靠自编的计算机程序进行拟合和确定式(6)中参数 σ 和 μ 。可求得三种物料工况均值的概率密度函数如下:

原生土:

$$f_1(y) = \frac{1}{60.97 \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ - \frac{(y + 26.74)^2}{2 \times (60.97)^2} \right\} \quad (7)$$

松散物料:

$$f_2(y) = \frac{1}{65.11 \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ - \frac{(y + 32.07)^2}{2 \times (65.11)^2} \right\} \quad (8)$$

风化岩:

$$f_3(y) = \frac{1}{71.42 \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ - \frac{(y + 35.31)^2}{2 \times (71.42)^2} \right\} \quad (9)$$

1.3.4 求幅值—均值联合概率密度函数

根据已求得的幅值和均值的概率密度函数, 并由于二者相互独立, 所以其联合概率密度

函数是单个参量概率密度函数之积,即:

$$\text{原生土: } f_1(x, y) = f_1(x) \cdot f_1(y) \quad (10)$$

$$\text{松散物料: } f_2(x, y) = f_2(x) \cdot f_2(y) \quad (11)$$

$$\text{风化岩: } f_3(x, y) = f_3(x) \cdot f_3(y) \quad (12)$$

2 二维载荷谱的编制

2.1 各物料工况载荷循环次数(频次)的计算

本课题提供的程序加载载荷谱,包含 10^6 次载荷循环次数,等效于推土机混合推土作业 305 工作小时。根据在作业现场测取的各物料工况工作应变的时间历程的统计计数,就可按下式计算出在 10^6 次室内加载循环次数中,每一个物料工况应占的加载循环的次数 N_i :

$$N_i = \alpha \cdot \frac{10^6}{B_i} \cdot n_i \quad (13)$$

式中 N_i ——在 10^6 次室内加载循环中,第 i 个物料工况应占的循环次数, $i = 1, 2, 3$;

α ——推土机混合推土作业时,原生土,松散物料和风化岩物料工况作业时间比,取为 1 0 5 1;

n_i ——由试验测取的第 i 个物料工况,每小时的载荷循环数;

B_i ——推土机按给定的 α 推土作业,每工作 1 小时的载荷循环次数。

由式(13)计算所得的每一种物料工况的加载循环次数,原生土: 2.68×10^5 , 松散物料: 2.2×10^5 , 风化岩: 5.12×10^5 。

2.2 二维加载载荷谱的编制

2.2.1 求幅值-均值联合分布概率

对描述三种物料工况推土作业的车架纵梁工作应变(应力)随机过程(母体)的幅值—均值联合概率密度函数进行积分,就可得到各物料工况推土作业的幅值—均值联合分布概率,即

$$\text{原生土: } F_1(x_i, y_j) = \int_{x_{L_i}}^{x_{H_i}} \int_{y_{L_j}}^{y_{H_j}} f_1(x, y) dx dy \quad (14)$$

$$\text{松散物料: } F_2(x_i, y_j) = \int_{x_{L_i}}^{x_{H_i}} \int_{y_{L_j}}^{y_{H_j}} f_2(x, y) dx dy \quad (15)$$

$$\text{风化岩: } F_3(x_i, y_j) = \int_{x_{L_i}}^{x_{H_i}} \int_{y_{L_j}}^{y_{H_j}} f_3(x, y) dx dy \quad (16)$$

式中 x_{H_i} ——第 i 级幅值的上限, $i = 1, \dots, n$, 幅值分级数; x_{L_i} ——第 i 级幅值的下限;

y_{H_j} ——第 j 级均值的上限; $j = 1, \dots, m$, 均值分级数; y_{L_j} ——第 j 级均值的下限;

$F_n(x_i, y_j)$ ——对应的物料工况,其幅值落在第 i 级,其均值落在第 j 级的概率, $n = 1, 2, 3$

2.2.2 求各物料工况推土作业的幅值—均值加载循环频次

将相应物料工况推土作业的幅值—均值联合分布概率乘以该物料工况的加载循环次数,就可求得各物料工况相应幅值—均值等级的加载循环频次,即:

$$\text{原生土: } U_1(x_i, y_j) = N_1 \cdot F_1(x_i, y_j) \quad (17)$$

$$\text{松散物料: } U_2(x_i, y_j) = N_2 \cdot F_2(x_i, y_j) \quad (18)$$

风化岩: $U_3(x_i, y_j) = N_3 \cdot F_3(x_i, y_j)$ (19)

2.2.3 求二维加载载荷谱

将式(17)、(18)、(19)叠加,即获得综合地模拟三种物料混合推土作业的二维室内加载载荷谱 U , 即:

$$U(x_i, y_j) = U_1(x_i, y_j) + U_2(x_i, y_j) + U_3(x_i, y_j) \quad (20)$$

式中 $U(x_i, y_j)$ ——代表幅值为第 i 级, 均值为第 j 级单元的加载循环次数。幅值分级数: $i = 1, 2 \dots 20$ 级, 均值分级数 $j = 1, 2 \dots 34$ 级,

用二维加载载荷谱加载时, 每一个加载循环均有其特定的波动中心(均值)和幅值, 它对实际载荷模拟较真实。但用二维载荷谱来加载, 实施起来较难。在工程上, 通常采用常均值谱来实施加载。

3 常均值程序加载载荷谱的编制^[3]

3.1 确定常均值和幅值的转换

常均值载荷谱就是按 Goodman 提出的等损伤原则, 把上述二维载荷谱中的均值变量, 转换到一个统一的、固定的波动中心(固定均值)上; 在上述转换中, 对应的幅值跟着作相应的折算。这样, 就把二维载荷谱转换成一维载荷谱。在这种载荷谱中, 均值保持某一常量, 仅体现幅值与加载循环次数(频次)的关系。按 Goodman 提出原则, 幅值转换公式如下:

$$(S_{aeq})_{ij} = \left(\frac{\sigma_b - S_m}{\sigma_b - S_{m_j}} \right) S_{a_i} \quad (21)$$

式中 S_m ——给定的固定均值; S_{a_i} ——折算前第 i 级的幅值; S_{m_j} ——折算前第 j 级的均值; σ_b ——材料的强度极限; $(S_{aeq})_{ij}$ ——均值转换到 S_m 时, 对应幅值为第 i 级, 均值为第 j 级单元的等效幅值。

固定的常均值 S_m 取三种物料工况正态概率密度函数中均值, 参见式(7)、(8)、(9)的平均值, 为 $-31 \mu\epsilon (-6.4 \text{ MPa})$ 。

3.2 累积频次曲线的绘制

根据给定的均值和二维加载载荷谱数据, 借助于计算机进行折算的结果可绘制成如图 3 所示的累积频次曲线。其纵坐标已将应变换算成应力, 其横坐标为超值累积频次。

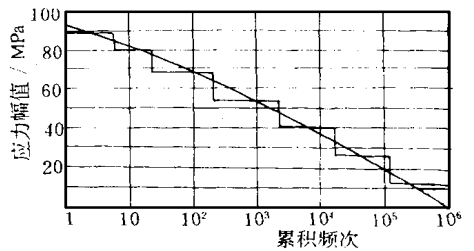


图 3 累积频次曲线

3.3 加载载荷分级

目前, 常用按 8 级分, 并根据如下公式进行分级:

$$S_{a_k} = S_{a_{max}} \beta_k \quad (22)$$

式中 S_{a_k} ——分级载荷(幅值); $S_{a_{max}}$ ——最大载荷(幅值), 即对应 10^{-6} 概率的载荷; β_k ——载荷级别比例系数(k ——分级数, $k = 1, 2, \dots, 8$), 通常取 $\beta_k = 1, 0.95, 0.85, 0.725, 0.575, 0.425, 0.275, 0.125$ 。

根据试验知, 风化岩物料工况载荷最大。所以根据式(5), 令概率为 10^{-6} , 求得最大幅值为 $472 \mu\epsilon$, 取 $S_{a_{max}} = 472 \mu\epsilon$ 。

根据确定的各级载荷,从图3所示的累积频次曲线就可算出各级载荷的加载循环频次,详见表2。

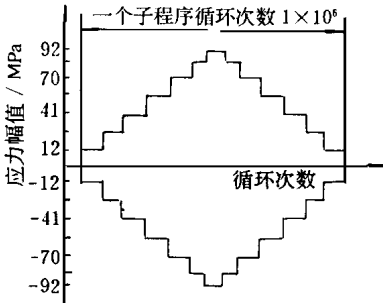


图4 程序加载载荷谱图

表2 八级载荷谱

载荷级	应变幅值	应力幅值	幅值比	等级	累积
	/με	MPa			
I	472	97	1	1	1
II	448	92	0.95	4	5
III	401	83	0.85	17	22
IV	342	70	0.725	166	188
V	271	56	0.575	1616	1804
VI	200	41	0.425	15196	1.7×10^4
VII	130	27	0.275	9.3×10^4	1.1×10^5
VIII	59	12	0.125	8.9×10^5	1×10^6

3.4 常均值程序加载载荷谱

根据表2所示的八级载荷谱数据,按低—高一低次序排列的程序加载载荷谱为图4所示。但为减小加载次序的影响,通常将 10^6 次循环加载总次数,大致均分成10~20个周期来完成。

4 结论

1) 本文所提供的常均值程序加载载荷谱,从理论上说,等效于推土机混合推土作业305小时(假设原生土,松散物料和风化岩三种物料推土作业时间比为1:0.5:1)。虽然,上述等效关系,尚需再经实践验证,但它作为车架加工质量对比试验还是较实用的。

2) 本文所提供的加载谱是车架纵梁根部的应变(应力)谱。所以,应用时,在确定加载点和加载方法后,需通过予试,先找出加载载荷与车架纵梁根部应变(应力)的关系,进而转换成对应的真实的加载载荷谱。

参 考 文 献

- 1 成凯 推土机平衡梁和车架纵梁的工作应力测定与分析. 农业工程学报, 1997. 13(3): 133~135
- 2 石来德 机械的有限寿命设计和试验. 上海: 同济大学出版社, 1990. 1~97
- 3 丁汉哲 试验技术. 北京: 机械工业出版社, 1982. 359~377