

推土机载荷谱研究与开发(V)

推土机台车架斜撑臂工作应力测定与分析*

成凯 屈冰峰 刘述学 郁工瑞

(吉林工业大学)

提 要 通过对推土机台车架斜撑臂进行有限元分析,找出其危险断面,并通过实际测试掌握其最大应力,为改进设计提供依据。

关键词 推土机 斜撑臂 工作应力

Test and Analysis About Working Stress on Oblique Supporting Arm of Dozer Frame

The fifth paper of series "load spectrum study and development of dozer"

Cheng Kai Qu Bing-feng Liu Shu-xue Yu Gong-rui

(Jilin University of Technology, Changchun)

Abstract Through finite element analysis to the oblique supporting arm of dozer frame, the critical sections were found and the maximum stress was found from test to provide the basis for changing design.

Key words Dozer Oblique supporting arm Working stress

1 引言

斜撑臂是履带推土机行走装置的关键组成部分,系铸钢件,结构形状及承受的外载荷复杂,工作环境恶劣。为较准确地测定其危险断面上的工作应力,先采用有限元分析法,判断其最大应力点,然后应用电阻应变片法实测最大应力点的工作应力。

为较全面地掌握该零件在推土机各种典型(严重)工况下的工作应力,分别在转向、越障、松土和推土等工况下,对其最大应力点上的工作应力进行了测定。

2 斜撑臂的有限元分析

2.1 斜撑臂有限元分析模型的建立

2.1.1 有限元网格的划分

斜撑臂的形状复杂,无对称轴(面),变截面且变厚度。它的后部同台车架的纵梁焊接,形

收稿日期:1996-11-11 1997-07-14 修订

* 国家“八五”重大引进技术消化吸收项目

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

成一个封闭的箱体, 其结构简图如图 1 所示。根据斜撑臂的上述结构特点和所采用的 SSA P91 有限元分析程序的功能, 其有限元分析模型采用 8、10 和 12 mm 三种厚度的板壳元和任意四边形与三角形网格单元的混合模型。在不影响加载条件情况下, 将原斜撑臂头部改成如有限元模型所示样式, 如图 2 (这里只给出一个面的有限元分析模型图)。斜撑臂有限元模型由 1099 个节点、1144 个三种厚度的板壳单元组成。

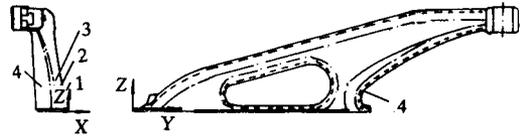


图 1 斜撑臂和测点位置图

2.1.2 边界条件的确定

斜撑臂后部的底边与台车架纵梁焊接在一起, 将这部分视为全约束。斜撑臂头部 (即在它与摆动轴的联结处), 在垂直 X 和 Y 轴的平面内均受到扭转约束 (即转角 $r_{x,y} = 0$) 和承受分别沿 X 、 Y 轴向的外力 F_x (垂直指向地面为正) 与 F_y (平行地面, 与前进方向反方向为正)。

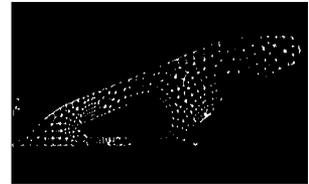


图 2 有限元分析模型

2.2 有限元计算结果

已如上述, 进行有限元分析的目的是为了较准确地确定斜撑臂的最大工作应力点, 为确定粘贴电阻应变片的位置提供依据。考虑到要准确地确定斜撑臂头部处的外力 F_x 和 F_y 是困难的, 在应用上述有限元模型进行应力计算时, 根据经验和对斜撑臂受力的估算, 分别设定如下 6 种受力工况 (如表 1 所示) 来进行考察, 由有限元计算结果可得出如下结论: 按第四强度理论计算所得的等效应力值, 所确定的最大应力值点, 均落在斜撑臂的颈部处。由此, 选定如图 1 中所示的 4 个点作为工作应力的主要测点。在上述测点处, 粘贴三角形应变花。

表 1 斜撑臂的 6 种受力工况

外 载	I	II	III	IV*	V	VI
F_x/kN	9.4	15	15	15	15	15
F_y/kN	0	0	- 10	+ 10	- 50	+ 50
$r_{x,y}$	√	√	√	×	√	√

* 在垂直 X 和 Y 轴的平面内扭转不受约束。

3 斜撑臂的工作应力测试^[1,2]

分别在静载、模拟典型的严重工况和实际推土作业工况下, 对左斜撑臂上述测点的工作应力进行了测定。

3.1 测试工况与设备

静载工况指的是: 处于整备状态的推土机停在平地上, 推土铲和松土铲均处于正常悬置位置。

模拟典型的严重工况选择如下六种:

平推, 偏推, 均载松土, 偏载松土, 左、右履带越障, 左、右原地转向。

实际推土作业工况选为工作物料为风化岩的推土作业,推土铲作业深度为 400 mm,在作业过程中伴随有履带行走部分严重打滑的现象。测试设备参阅文献 [3]。

3.2 测试数据处理及结果

有关测点上工作应变的测定利用三角形应变花,如图 3 所示。令应变花中的 I、II 和 III 应变片所测得的应变值为 ϵ_1 、 ϵ_2 和 ϵ_3 ,则根据材料力学的平面应力场的下列计算公式,可计算出各测点的最大主应力 σ_1 、最小主应力 σ_3 及最大主应力与基准线(即 I 应变片的轴线)的夹角 θ (正值意为依逆时针方向转过 θ 角度,负值则为依顺时针方向转过 θ 角度):

$$\sigma_1 = E \left[\frac{\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3}{3(1 - \mu)} + \frac{1}{1 + \mu} \cdot \sqrt{\left(\epsilon_1 - \frac{\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3}{3} \right)^2 + \left(\frac{\epsilon_2 - \epsilon_3}{\sqrt{3}} \right)^2} \right]$$

$$\sigma_3 = E \left[\frac{\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3}{3(1 - \mu)} - \frac{1}{1 + \mu} \cdot \sqrt{\left(\epsilon_1 - \frac{\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3}{3} \right)^2 + \left(\frac{\epsilon_2 - \epsilon_3}{\sqrt{3}} \right)^2} \right]$$

$$\theta = \frac{1}{2} \text{tg}^{-1} \left[\frac{\frac{1}{\sqrt{3}}(\epsilon_2 - \epsilon_3)}{\epsilon_1 - \frac{\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3}{3}} \right]$$

式中 E ——斜撑臂材料的弹性模量,取值为 $2.02 \times 10^5 \text{ Pa}$;

μ ——斜撑臂材料的泊松系数,取值为 0.3。

基于斜撑臂系铸钢件,根据材料力学中的强度理论,宜用第四强度理论来考核其强度,其等效应力的计算公式如下:

$$\sigma_e = \sqrt{\frac{1}{2} \left[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 \right]}$$

由于把斜撑臂简化成一个薄壳结构,所以,上式中 $\sigma_2 = 0$ 。

表 2~ 表 6 分别列出在上述各种测试工况下,各测点的最大工作应力值。实际推土作业工况时,在一个作业循环中,测点 3 处应变花中典型的 I、II、III 应变片的动态工作应变如图 4 所示。

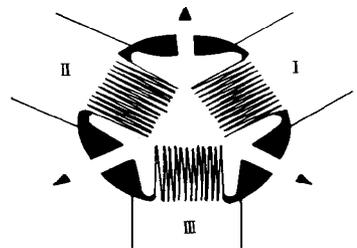


图 3 三角形应变花

表 2 静载工况各测点的工作应力值

MPa

测点号	静 载 工 况			σ_e
	σ_1	σ_3	$\theta / (^\circ)$	
1	24.7	-121.3	-29.6	135.4
2	-105.5	-125.3	-36.1	116.6
3	208.9	4.3	-29.6	206.9
4	-48.1	-78.8	-12.9	68.8

表 3 模拟推土工况各测点的工作应力值

M Pa

测点号	模 拟 推 土 工 况							
	平 推				偏 推			
	σ_1	σ_3	$\theta/(^\circ)$	σ_c	σ_1	σ_3	$\theta/(^\circ)$	σ_c
1	27.2	- 112.5	- 28	128.3	27.3	113.9	- 29.8	129.8
2	- 96.9	- 100.6	- 20.32	98.8	- 98.9	- 120.8	- 32.0	111.6
3	217.1	0.3	- 30.9	216.9	216.7	8.2	- 30.0	212.7
4	- 63.7	- 89.6	4.7	79.8	- 51.4	- 81.3	- 7.0	71.3

表 4 松土工况各测点的工作应力值

M Pa

测点号	松 土 工 况							
	均 载 松 土				偏 载 松 土			
	σ_1	σ_3	$\theta/(^\circ)$	σ_c	σ_1	σ_3	$\theta/(^\circ)$	σ_c
1	24.1	- 123.6	- 29.2	137.2	26.2	- 116.4	- 29.4	131.5
2	- 106.8	- 137.9	- 36.5	125.3	- 100.1	- 110.6	- 20.2	105.8
3	208.7	10.9	- 29.0	203.5	215.7	6.2	- 30.3	212.7
4	- 37.6	- 72.3	- 20.2	62.6	- 45.8	- 81.7	- 11.8	70.5

表 5 转向工况各测点的工作应力值

M Pa

测点号	转 向 工 况							
	左 转 向				右 转 向			
	σ_1	σ_3	$\theta/(^\circ)$	σ_c	σ_1	σ_3	$\theta/(^\circ)$	σ_c
1	27.7	- 108.2	- 30.1	124.4	23.0	- 124.7	- 28.6	137.6
2	- 89.9	- 106.9	19.1	99.5	- 107.7	- 122.6	35.0	115.8
3	224.7	18.6	- 26.4	215.9	205.3	- 5.0	- 30.0	207.9
4	- 40.4	- 66.2	- 23.3	57.8	- 42.4	- 70.3	2.0	61.4

表 6 越障工况各测点的工作应力值

M Pa

测点号	越 障 工 况							
	左 越 障				右 越 障			
	σ_1	σ_3	$\theta/(^\circ)$	σ_c	σ_1	σ_3	$\theta/(^\circ)$	σ_c
1	20.3	- 124.2	- 28.9	135.5	42.1	- 114.8	- 27.1	140.6
2	- 113.8	- 128.3	- 26.0	121.7	- 80.2	- 110.3	- 10.2	98.7
3	218.5	9.8	- 30.1	213.6	217.5	7.6	- 31.3	213.8
4	- 48.2	- 85.0	- 30.9	73.8	- 53.3	- 85.5	- 2.6	74.7

4 结 论

1) 被试推土机在整备状态下停在平地上, 当推土铲和松土铲均处于正常悬置情况时, 上述 4 个测点中, 第 3 号测点的工作应力为最大, 其最大主应力值为 208.9 M Pa, 对应的等

效应力值为 206.9 MPa。

2) 在上述模拟典型的严重工况下测试, 第 3 号测点处的工作应力均为最大, 对比表 2~6 中数据可见, 其中, 左转向工况较为严重, 对应 3 号测点的最大主应力值为 224.7 MPa, 对应的等效应力值为 215.9 MPa; 相比于静载工况, 分别增加 7.56% 和 4.34%。工作应力值增加不明显。

3) 在风化岩的实际推土作业时, 在一个作业循环中, 经推土铲切入, 定深集土, 推土铲水平运土, 提升堆土, 卸土到推土机倒退, 由图 4 可见, 3 号测点处的 I, II 和 III 应变片测得的动态工作应变变化均较大, 其变化范围分别为 0~134 $\mu\epsilon$ (基本为单向变动), -80~67 $\mu\epsilon$ (为双向变动) 和 0~109 $\mu\epsilon$ (基本为单向变动)。测点 3 对应图 4 III 中的 3 个峰值点 (104.4, 109.1 和 97.6 $\mu\epsilon$) 的最大动态主应力值分别为 30.5 MPa, 30.7 MPa 和 34.8 MPa, 对应的动态等效应力值分别为 26.4 MPa, 22.5 MPa 和 37.35 MPa。当计入测点 3 的静载工作应力值, 该测点的最大主应力值为 243.7 MPa, 最大等效应力值为 244.3 MPa。

4) 根据实际推土作业计算测点的动载系数如下: 对于最大主应力为 16.7%, 对于最大等效应力为 18.05%

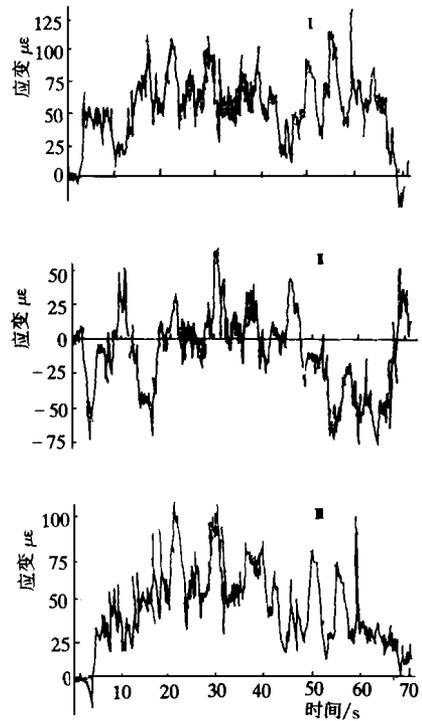


图 4 测点处应变花动态工作应变

参 考 文 献

- 1 石来德 机械参数电测技术 上海科学技术出版社, 1981 5~ 68
- 2 石来德 机械的有限寿命设计和试验, 上海科学技术出版社, 1990 1~ 97
- 3 刘述学, 成 凯, 郁工瑞等 推土机现场作业时多参数的实时测试 农业工程学报, 1997, 13 (1): 72 ~ 75