

工程机械非完全对称四支腿反力简易计算方法

陈礼德^① 曹正清

(中国农业大学车辆工程学院)

摘要 基于变形设计中小型工程机械支腿反力的求解问题,给出了非完全对称支腿支反力计算的简化数学模型,用此数学模型对模拟试验样车进行了计算。计算结果与模拟试验结果对比表明本简化数学模型是正确、可行的。在此数学模型的基础上对臂架全回转过程中4支腿受力,3支腿受力进行了分析。

关键词 工程机械;非完全对称;支腿反力;计算方法

分类号 TH 122

A Simple Calculation Method of Nonfull Symmetry Four Outriggers Reaction for Construction Machinery

Chen Lide Cao Zhengqing

(College of Vehicle Engineering, CAU)

Abstract A simplified mathematical model for solving construction machinery outriggers reaction calculation problems is developed. Calculation on a simulation construction machinery are carried out using that model, the results of comparing experiments with calculation showed that the simplified mathematical model is correct and feasible. Based on the model, analyses of Four and three outriggers reaction during turning round of arm are put into practice.

Key words construction machinery; nonfull symmetry; outrigger reaction; calculation method

1 问题的提出

在小型工程机械(如高空作业车、起重机、挖掘机等)设计以及由小四轮拖拉机变型工程机械设计中,往往遇到非完全对称(即左右对称而前后不对称)四支腿强度计算及整车稳定性校核等问题。此问题是超静定问题。在实际设计中,工程设计人员在运用有限元方法有困难的情况下,能给出一个简化计算方法,使计算简便、高效、可行是本文的初衷。

2 模型建立及臂架回转过程受力分析

如图1所示, O_1 为工作臂架与底盘的连接点,梯形的4个顶点为支腿安装点。当工作臂架与车身对称轴线成 α 角时,整车所受外力可简化为: G_0 是作用在底盘重心 O 上的固定部分重量; G_1 是简化到臂架回转中心 O_1 上的活动载荷; M 是臂架作用于车架的集中力矩; R_1, R_2, R_3, R_4 分别是四支腿的支反力。

收稿日期:1999-06-11

①陈礼德,北京清华东路17号中国农业大学(东校区)206信箱,100083

为简化计算,假设4条支腿支撑在同一水平面内,它们的刚度相同且支撑地面的刚度相同。

2.1 4支反力计算公式

由受力简图,假定臂架转化来的集中力矩按线性分配到前后支腿,根据受力平衡可得:

$$R_1 = \frac{G_0(e+f) + G_1 f}{2c} - \frac{Mf}{ac} \sin \alpha - \frac{M \cos \alpha}{2c}$$

$$R_2 = \frac{G_0(e+f) + G_1 f}{2c} + \frac{Mf}{ac} \sin \alpha - \frac{M \cos \alpha}{2c}$$

$$R_3 = \frac{G_0[c - (e+f)] + G_1(c-f)}{2c} + \frac{M \cos \alpha}{2c} + \frac{M \sin \alpha}{bc} (c-f)$$

$$R_4 = \frac{G_0[c - (e+f)] + G_1(c-f)}{2c} + \frac{M \cos \alpha}{2c} - \frac{M \sin \alpha}{bc} (c-f)$$

式中: a 为两前支腿间距离; b 为两后支腿间距离; c 为前、后支腿间距离; f 为臂架回转中心 O_1 到两后腿的纵向距离; e 为车辆重心 O 到臂架回转中心 O_1 的纵向距离。

令

$$Q = \frac{G_0(e+f) + G_1 f}{2c} \quad H = \frac{G_0[c - (e+f)] + G_1(c-f)}{2c}$$

$$L_1 = \frac{M(4f^2 + a^2)^{1/2}}{2ac} \quad L_2 = \frac{M[b^2 + 4(c-f)^2]^{1/2}}{2bc}$$

$$\alpha_1 = \arctan \frac{2f}{a} \quad \alpha_2 = \arctan \frac{2(c-f)}{b}$$

则以上4式可化简为

$$\left. \begin{aligned} R_1 &= Q - L_1 \cos(\alpha - \alpha_1) & R_2 &= Q - L_1 \cos(\alpha + \alpha_1) \\ R_3 &= H + L_2 \cos(\alpha - \alpha_2) & R_4 &= H + L_2 \cos(\alpha + \alpha_2) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

2.2 4支反力的极值求法

在强度计算中最关心的是各支腿的极值及其对应的臂架位置。从式(1)知:

当 $\alpha = 180^\circ + \alpha_1$ 时, R_1 得最大值 $R_{1 \max} = Q + L_1$; $\alpha = \alpha_1$ 时, R_1 得最小值 $R_{1 \min} = Q - L_1$ 。

当 $\alpha = 180^\circ - \alpha_1$ 时, R_2 得最大值 $R_{2 \max} = Q + L_1$; $\alpha = -\alpha_1$ 时, R_2 得最小值 $R_{2 \min} = Q - L_1$ 。

当 $\alpha = \alpha_2$ 时, R_3 得最大值 $R_{3 \max} = H + L_2$; $\alpha = 180^\circ + \alpha_2$ 时, R_3 得最小值 $R_{3 \min} = H - L_2$ 。

当 $\alpha = -\alpha_2$ 时, R_4 得最大值 $R_{4 \max} = H + L_2$; $\alpha = 180^\circ - \alpha_2$ 时, R_4 得最小值 $R_{4 \min} = H - L_2$ 。

2.3 计算中支反力出现零或负值的条件

当 $R_1 \leq 0$ 时, $\cos(\alpha - \alpha_1) \geq (Q/L_1)$,即 $\alpha_1 - \beta_1 \leq \alpha \leq \alpha_1 + \beta_1$ (式中 $\beta_1 = \arccos(Q/L_1)$)。

同样可以得到其他各支腿零值或负值的条件:

$R_2 \leq 0$ 时, $-\beta_1 - \alpha_1 \leq \alpha \leq \beta_1 - \alpha_1$;

$R_3 \leq 0$ 时, $180^\circ + (\alpha_2 - \beta_2) \leq \alpha \leq 180^\circ + (\alpha_2 + \beta_2)$ (式中 $\beta_2 = \arccos(H/L_2)$);

$R_4 \leq 0$ 时, $180^\circ - (\alpha_2 + \beta_2) \leq \alpha \leq 180^\circ - (\alpha_2 - \beta_2)$ 。

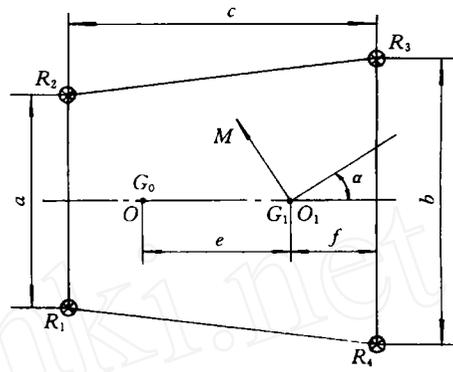


图1 非完全对称四支腿反力简图

2.4 3 支点反力计算公式

计算中,若有 1 个支点出现零或负值时,上式已不适用,此时已是 3 支点受力,所以应采用 3 支点的反力计算公式。

当臂架位置满足以上任一条件时,可设相应的支点不受力。

1) 设 $R_1=0$, 即 $\alpha_1-\beta_1 \leq \alpha \leq \alpha_1+\beta_1$ 时, 根据力平衡可推出

$$R_2 = 2Q - \frac{M}{c} \cos \alpha$$

$$R_3 = H - \frac{a}{b} Q + \frac{M}{c} \cos \alpha - \frac{M \sin(\alpha + \gamma - 90^\circ)}{b \sin \gamma}$$

$$R_4 = H + \frac{a}{b} Q - \frac{M \sin(\alpha + \gamma - 90^\circ)}{b \sin \gamma}$$

令其中

$$\gamma = \arcsin \frac{2c}{[4c^2 + (b-a)^2]^{1/2}}$$

2) 设 $R_2=0$, 即 $-\beta_1-\alpha_1 \leq \alpha \leq \beta_1-\alpha_1$ 时, 同理可推出

$$R_1 = 2Q - \frac{M}{c} \cos \alpha$$

$$R_3 = H + \frac{a}{b} Q + \frac{M \cos(\gamma - \alpha)}{b \sin \gamma}$$

$$R_4 = H - \frac{a}{b} Q + \frac{M}{c} \cos \alpha - \frac{M \cos(\gamma - \alpha)}{b \sin \gamma}$$

3) 设 $R_3=0$, 即 $180^\circ + (\alpha_2 - \beta_2) \leq \alpha \leq 180^\circ + (\alpha_2 + \beta_2)$ 时, 可推出

$$R_4 = 2H + \frac{M}{c} \cos \alpha$$

$$R_2 = \frac{b}{a} h + Q + \frac{M \cos(\gamma - \alpha)}{a \sin \gamma}$$

$$R_1 = Q - \frac{b}{a} H - \frac{M \cos \alpha}{c} - \frac{M \cos(\gamma - \alpha)}{a \sin \gamma}$$

4) $R_4=0$, 即 $180^\circ - (\alpha_2 + \beta_2) \leq \alpha \leq 180^\circ - (\alpha_2 - \beta_2)$ 时, 可推出

$$R_3 = 2H + \frac{M}{c} \cos \alpha$$

$$R_1 = \frac{b}{a} H + Q - \frac{M \sin(\alpha + \gamma - 90^\circ)}{a \sin \gamma}$$

$$R_2 = Q - \frac{b}{a} H - \frac{M}{c} \cos \alpha + \frac{M \sin(\alpha + \gamma - 90^\circ)}{a \sin \gamma}$$

说明 在作具体计算之前,可先求出 Q, H, L_1, L_2 , 比较其大小, 判断支点反力是否有零或负值: 如没有, 则用 4 支点反力公式计算; 若有, 则找出相应的区域, 改用 3 支点公式计算。用 3 支点公式计算时, 若发现有 1 个支点为零或负, 则要对整车稳定性进行校核。

3 验 证

为验证以上计算模型的正确性, 笔者做了模拟试验样车。试验样车的参数如下: 两前支腿

间距离 328 mm; 两后支腿间距离 725 mm; 前、后支腿间距离 595 mm; 臂架回转中心 O_1 到两后腿的纵向距离 230 mm; 样车重心 O 到臂架回转中心 O_1 的纵向距离 115 mm; 样车质量 44.8 kg; 模拟吊质量 7.4 kg; 吊重至回转中心 O_1 的水平距离 710 mm。4 支腿的支反力用 4 个静态压力传感器测量, 试验中臂架回转每隔 30° 测量 1 次支反力。实测与理论计算(以模拟样车的参数为依据)曲线如图 2。

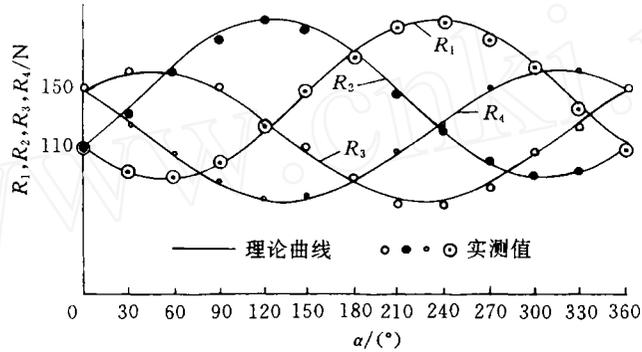


图 2 实测值与理论曲线的比较

经过数值比较, 实测值与理论计算值间的最大误差为 3.5%, 但整体吻合得非常好。

4 结 语

本文中给出的计算模型能很好描述非完全对称 4 支点的受力情况, 满足工程实际设计的需要, 且具有计算方便、快捷的特点, 也适用于对称的 4 支点工程机械支腿反力的计算, 可为实际设计中工程机械的稳定性及支腿强度效核提供依据。

参 考 文 献

- 1 杨长骥, 傅东明. 起重机械. 北京: 机械工业出版社, 1992. 273~276