

M-50型摩托车车架静强度计算与分析

刘 敏 珊 兰 振 凯

提 要

本文采用结构矩阵位移法针对M-50型摩托车车架进行了静强度计算, 获得了摩托车车架较为简便的强度计算方法。分析整理了计算结果, 确定了摩托车架承载后的最大受力位置, 能满足M-50型摩托车几何车体的强度和刚度的安全要求。

一、概 述

随着人民生活水平的提高, 对于代步工具也提出了更高地要求, 继自行车之后, 摩托车已逐渐成为人民普遍喜爱的交通工具。

为保证对用户负责, 不仅要使车型达到美观大方, 坚固安全耐用, 又要节约材料。因此, 本文对M-50型摩托车车架进行了静强度理论计算与分析。

M-50型轻便摩托车具有较合理的车体几何尺寸和角度, 骑行时可获得比较轻便、灵活、平稳、舒适、安全耐用的良好性能。虽然, 在车体方案设计和施工设计时, 几何计算和造型设计是必不可少的步骤。但是, 对已确定了几何尺寸后车体的静、动强度应力计算和试验以及装车后的模拟各种环境条件的骑行试验则是最基本的。

二、计 算 假 定

骑行者操纵摩托车, 使它直立稳定的行驶, 但操纵过程完全是无意识的, 整个过程由于人的特性而复杂化, 为便于计算, 本文不考虑人体的特性和骑行姿势的因素, 而作如下计算假定:

1. 车轮侧滑角等于零, 车轮的轨迹与车轮方向一致, 外倾力不计。(注: 前轮方向与行驶方向不同时, 称其夹角为侧滑角, 车轮与地面产生的侧向力叫外倾力)。
2. 人车一体, 重心在一条直线上。
3. 把摩托车车架简化为刚架, 属平面杆系结构。
4. 考虑到摩托车车体较大, 自重是不可忽略的计算因素。所以, 载荷分别按满载 150kg + 自重和超载 180kg + 自重两种情况进行计算。荷载分配按常规转换成集中力分别垂直加载到车把、车座和后物架等杆件形心上。
5. 为使理论计算与静强度应力实验相一致, 故把计算支承也模拟假定为三支承连杆转动支座。如图1, 6。

三、计 算 理 论

结构位移分析法如同用虚功原理、卡氏第一定理、势能驻值原理一样在进行结构分析时

都是以位移为基本未知量的, 最后再归结为求解由位移表示的平衡条件。因此, 我们把弯曲杆件的变形能也象线弹性杆系一样表示为位移的二次齐次函数。普遍情况下, 设作用于结构的载荷为 p_1 、 p_2 、 \dots 、 p_n , 相应的位移是 δ_1 、 δ_2 、 \dots 、 δ_n 。这里的力和位移都是广义的。根据克拉贝依隆定理, 变形能为:

$$U = \frac{1}{2} p_1 \delta_1 + \frac{1}{2} p_2 \delta_2 + \dots + \frac{1}{2} p_n \delta_n$$

的线性函数, 因为上式中每一载荷都可以表示为位移 δ_1 、 δ_2 、 \dots 、 δ_n 的线性函数, 这样就可以把 U 表示为位移的二次齐次函数。即

$$\begin{aligned} U = & b_{11} \delta_1^2 + b_{12} \delta_1 \delta_2 + \dots + b_{1n} \delta_1 \delta_n \\ & + b_{21} \delta_2 \delta_1 + b_{22} \delta_2^2 + \dots + b_{2n} \delta_2 \delta_n \\ & \dots \dots \dots \\ & b_{n1} \delta_n \delta_1 + b_{n2} \delta_n \delta_2 + \dots + b_{nn} \delta_n^2 \end{aligned}$$

式中 b_{11} 、 b_{12} 、 \dots 等只是与结构性质有关的常数。应用卡氏 (Castigliano) 第一定理, 得

$$p_1 = \frac{\partial U}{\partial \delta_1} = s_{11} \delta_1 + s_{12} \delta_2 + \dots + s_{1n} \delta_n$$

$$p_2 = \frac{\partial U}{\partial \delta_2} = s_{21} \delta_1 + s_{22} \delta_2 + \dots + s_{2n} \delta_n$$

$$p_n = \frac{\partial U}{\partial \delta_n} = s_{n1} \delta_1 + s_{n2} \delta_2 + \dots + s_{nn} \delta_n \quad (3-1)$$

式中 s_{11} 、 s_{12} 、 \dots 、 s_{nn} 等都是与 b_{11} 、 b_{12} 、 \dots 有关的常数, 称为结构的刚度系数。方程组 (3-1) 也就是结构的整体刚度方程, 其中每一个方程式都是结构的局部平衡条件。

由方程组 (3-1) 可看出:

$$s_{11} = \frac{\partial p_1}{\partial \delta_1} = \frac{\partial^2 U}{\partial \delta_1^2}$$

$$s_{12} = \frac{\partial p_1}{\partial \delta_2} = \frac{\partial^2 U}{\partial \delta_2 \partial \delta_1}$$

$$s_{1n} = \frac{\partial p_1}{\partial \delta_n} = \frac{\partial^2 U}{\partial \delta_n \partial \delta_1}$$

$$s_{21} = \frac{\partial p_2}{\partial \delta_1} = \frac{\partial^2 U}{\partial \delta_1 \partial \delta_2}$$

$$s_{22} = \frac{\partial p_2}{\partial \delta_2} = \frac{\partial^2 U}{\partial \delta_2^2}$$

$$s_{2n} = \frac{\partial p_2}{\partial \delta_n} = \frac{\partial^2 U}{\partial \delta_n \partial \delta_2}$$

.....

显然有

$$s_{ij} = \frac{\partial^2 U}{\partial \delta_i \partial \delta_j} = \frac{\partial^2 U}{\partial \delta_j \partial \delta_i} = s_{ji}$$

所以刚度系数 s_{ij} 和 s_{ji} 是互等的。

为使用计算机对摩托车车架进行静强度分析计算。本文采用结构矩阵分析法编写了摩托车平面车架较为简便的计算程序(BASIC)语言,(程序略)。并在68000计算机上进行了计算。

结构矩阵分析法是把整体结构视为由多个力学小单元所组成的集合体,用有关参数来描述这些被离散单元的力学特性,而整个结构的力学特性就是这些单元特性的总和,由此建立起力的平衡关系和变形协调关系对各杆件进行受力分析。整个计算必须满足:

1. 汇交于同一结点的所有单元,在结点处的位移是相同的,也就是计算结点应该满足变形协调条件。

2. 作用在结点上的外载荷必须与连接该点处的各单元内载荷(单元内力)相平衡,即计算结点上应同时满足静力平衡条件。

3. 单元内载荷(单元内力)和单元结点位移之间的关系可由单元的刚度矩阵确定。作用在结构结点上的外载荷和结构结点位移之间的关系由结构整体刚度矩阵确定。而结构整体刚度矩阵是由结构各单元刚度矩阵经一系列矩阵变换和组集而得到。

由方程(3-1)通过转换可写成单元刚度矩阵的表示式为:

$$\begin{pmatrix} p_1 \\ p_2 \\ \vdots \\ p_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} k_{11} & k_{12} & \cdots & k_{1n} \\ k_{21} & k_{22} & \cdots & k_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ k_{n1} & k_{n2} & \cdots & k_{nn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \\ \vdots \\ \delta_n \end{pmatrix} \quad (3-2)$$

上式的缩写形式可简洁地表示为:

$$\{p\} = [k]\{\delta\} \quad (3-3)$$

由单元刚度矩阵(3-2)式可写出整体刚度矩阵(3-4),

$$\begin{pmatrix} p_1 \\ p_2 \\ \vdots \\ p_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} k_{11} & k_{12} & \cdots & k_{1n} \\ k_{21} & k_{22} & \cdots & k_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ k_{n1} & k_{n2} & \cdots & k_{nn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta_1 \\ \Delta_2 \\ \vdots \\ \Delta_n \end{pmatrix} \quad (3-4)$$

(3-4)式的编写形式可简洁地表示为

$$\{p\} = [k]\{\Delta\} \quad (3-5)$$

上式称为结构整体刚度方程式,简称为结构刚度方程;式中:

$\{p\}$: 单元内载荷列阵

$[k]$: 单元刚度矩阵

$\{\delta\}$: 单元结点位移列阵

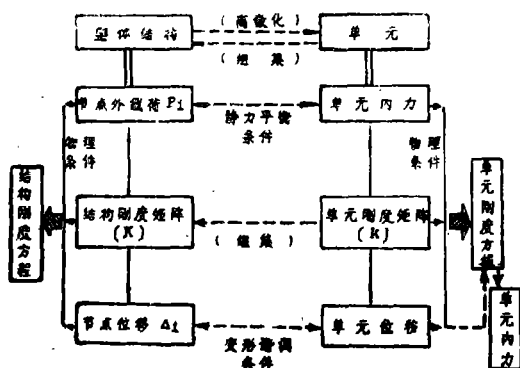
$\{p\}$: 结点外载荷列阵

$[k]$: 结构整体刚度矩阵或称总刚度矩阵

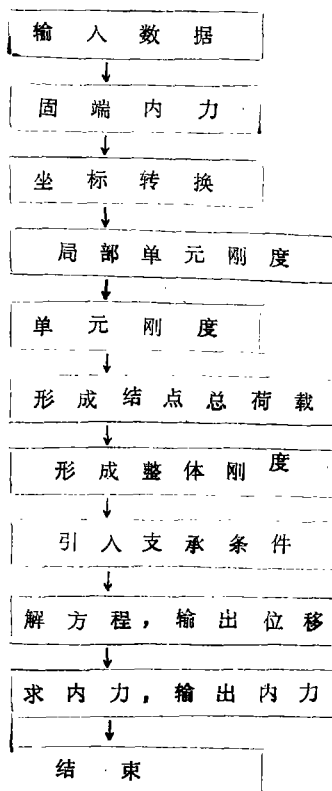
 $\{\Delta\}$: 结点位移列阵

上述关系式可用以下框图表示:

结构离散框图如下:

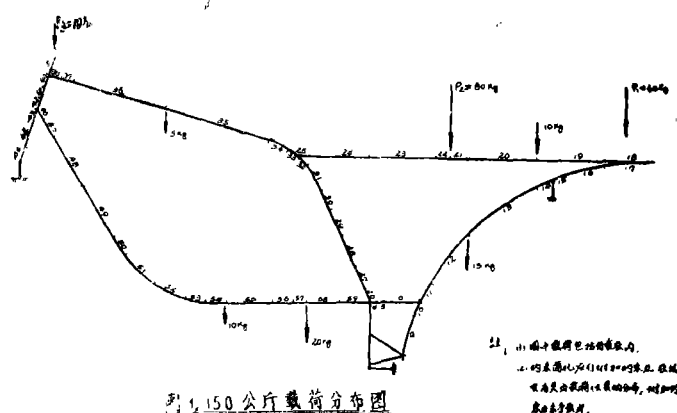


计算程序框图如下:



四、计算图形

摩托车车架是由前管、上管、平管、下管、矩形管等杆件所组成的杆系结构、为计算简便,将其简化为如图1图6所示的平面静定刚架结构。按杆件截面变形情况,杆件连接及受力情况并考虑到理论计算成果应与实验成果相比较。所以,将刚架计算图形划分成59个结点,



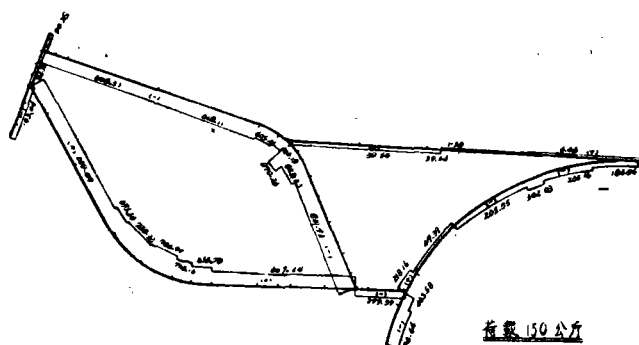


图2 摩托车结构计算内力图

荷载 150 公斤

单位: 牛顿

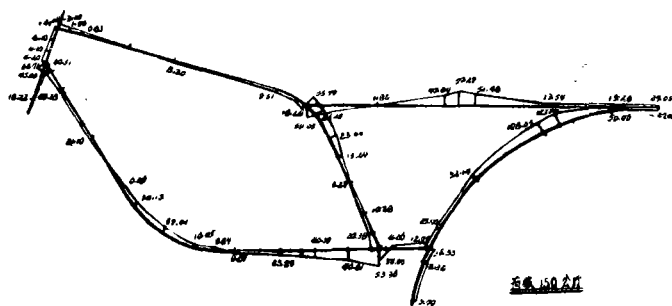


图3 摩托车结构计算位移图

荷载 150 公斤

单位: 毫米

60个计算单元。有关单元划分及坐标系的建立详见图1和图6;

对于摩托车刚架结构除了考虑 x 、 y 方向的线位移 u 、 v 外,还要考虑结点转角即角位移 θ 。因此,每个结点处应有三个位移参量 u 、 v 、 θ ,所以,每个结点处不仅要计算沿 x 、 y 方向的力 X 、 Y 而且还要计算弯矩 M 。

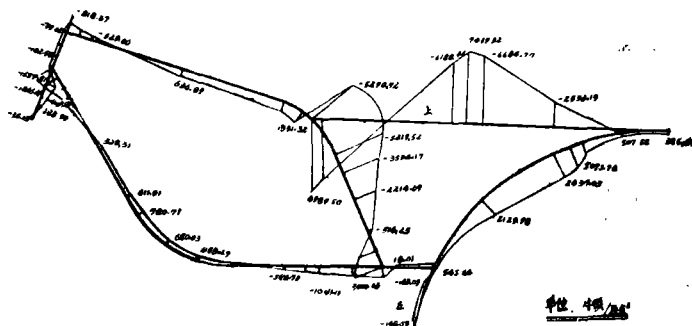
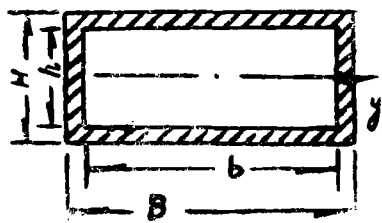


图4 摩托车结构加载150公斤上,车内面计算内力图

单位: 牛顿

(2) 矩框截面



$$A = BH - bh$$

$$I = \frac{1}{12} (BH^3 - bh^3)$$

$$W = \frac{1}{6} (BH^2 - \alpha bh^2)$$

$$\alpha = \frac{h}{H}$$

(3) 应力计算公式

$$\sigma_N = \frac{N}{A}$$

$$\sigma_W = \frac{M}{W}$$

$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{W}$$

2. 计算结果

(1) 加载150kg + 自重的计算应力情况

计算结果如图2, 3, 4, 5所示, 由图中可以看出车架承载后的危险截面发生在平管上的20、21、22、24、25单元的左端, 其最大应力值分别是:

$$\sigma_{20} = 6686.65; \quad \sigma_{21} = 7441.20; \quad \sigma_{22} = -6188.42;$$

$$\sigma_{24} = -6020.89 \quad \sigma_{25} = -7044.26;$$

(其中拉应力为正, 压应力为负, 单位为 N/cm^2)

(2) 加载180kg + 自重的计算应力情况

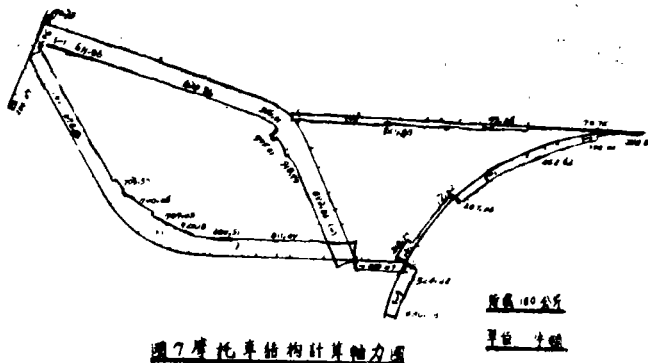
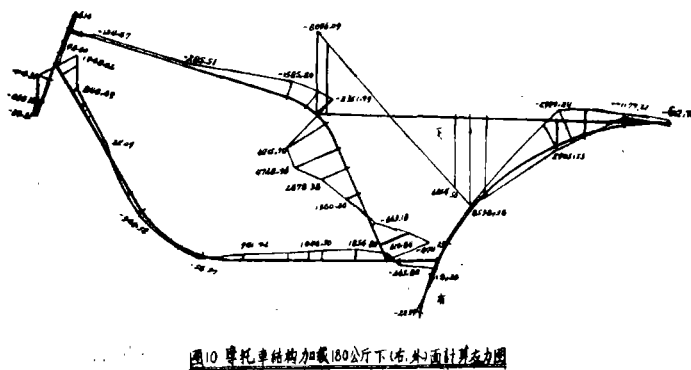
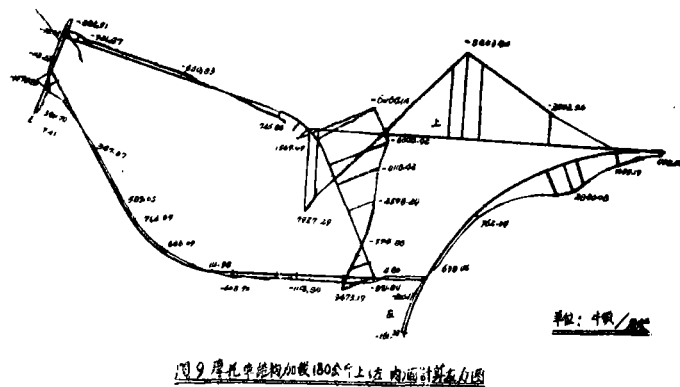
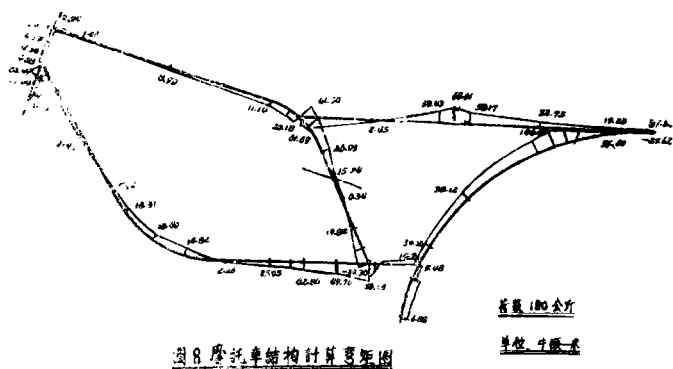


图7 摩托车结构计算轴力图



计算结果如图7, 8, 9, 10所示, 由上图可以看出车架承载后的危险截面发生在平管上的21、22、24、25计算单元的左端以及上管下弯部分的31、32计算单元的上端。其最大应力值分别是:

$$\begin{aligned}\sigma_{21} &= -8443.44; & \sigma_{22} &= -7023.36; & \sigma_{24} &= -6935.05; \\ \sigma_{25} &= -8096.09; & \sigma_{31} &= -6000.92; & \sigma_{32} &= -6066.12; \\ & (\text{其中拉应力为正, 压应力为负, 单位为 } \text{N}/\text{cm}^2)\end{aligned}$$

3. 计算结果分析

(1) 由计算结果可以看出, 危险截面发生在平管的主要承载处, (座位附近); 平管与上管的连接处; 其它各联接处的应力也较大。这是由于集中载荷作用导致应力集中的影响所造成的。因此, 应该注意加载的方式以尽量降低集中载荷作用的影响; 在联接处要使用较固的联接, 并使联接处尽量光滑以降低应力集中的影响。

(2) 车架承受再增荷载, 尤其是瞬时冲击荷载, 上述截面上的应力有迅速增加的趋势。

(3) 车架上载荷应力主要是由弯曲应力和轴应力组合而成, 剪应力影响较小。另外, 在危险截面处有 $\sigma_w \gg \sigma_N$ 。因此, 要注意车体各部分抗弯刚度的提高。尤其是要指出的是, 当平管下方加上附加联接件后, 13单元(位于方管上)附近的应力有明显增加。13单元上端将会成为危险截面。因此, 也要保证方管有足够的抗弯刚度。

六、结 论

1. 本文所采用的结构位移矩阵分析法计算摩托车车架是一种较为简便的计算方法。它不仅满足了计算精度的要求, 而且较力法简单。所编程序既便于掌握也便于微型计算机的使用。

2. 计算精度的高低, 完全取决于单元划分的粗细。由于本文把计算单元划分较细, 因此, 计算结果才有较高的计算精度。

3. 计算结果与实验结果(见另文)相比较, 二者基本趋于一致。

4. 根据前面结果分析, M-50型摩托车车架结构设计基本合理。车架在荷载作用下满足了刚度条件和强度条件, 有足够的静承载能力。

参 考 文 献

- [1] A. 格哈利, 结构分析 人民铁道出版社
- [2] 龙驭球 有限元法概论 人民教育出版社
- [3] 殷银田等 BASIC算法语言 人民教育出版社