

# 东方红-75 拖拉机车架在垂直非对称载荷作用下的内力分布和翘曲变形

伍义生 曾春华 田萍

(中国科学院力学研究所)

**【提要】** 本文采用结构矩阵分析法,对东方红-75 拖拉机车架在受到翘曲变形时的内力进行了计算与分析,系统的研究了当结构参数改变时车架内力分布的变化规律。以及该种车架强度和刚度不足的主要原因。提出了改进车架强度和刚度的实施办法。

## 引言

东方红-75型拖拉机是在东方红-54型拖拉机的基础上加以改进的。目前是我国生产的较大型的履带式拖拉机。这种拖拉机的车架是由两根槽钢纵梁、箱形断面的铸铁前梁、两根工字型的横梁和圆形的空心后轴所组成。基本上是一个平面框架式的结构,其结构形式见图1。车架各杆的断面特征见表1。拖拉机在使用过程中,经常出现前梁断裂、纵梁和后轴弯曲及车架变形等现象,成为目前迫切需要解决的问题。

根据前人的工作<sup>[1,2,3]</sup>和我们对车架损坏情况的调查及对拖拉机车架的田间应力实测<sup>[4,5]</sup>知道,车架之所以发生损坏,主要原因是拖拉机在高低不平的路面上行驶、过垄沟、单边越障等工况下,车架总是处于反复翘曲的状态,使车架各杆受到强烈的弯矩和扭矩作用所造成的。因此,我们侧重分析了车架在翘曲时的内力分布,从理论上分析前梁断裂和车架变形的原因。研究结构参数改变时,对车架内力分布及翘曲变形的影响,以寻找改进车架强度和刚度的办法。

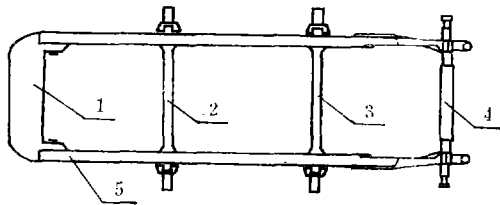


图 1

1—前梁 2—前横梁 3—后横梁 4—后轴 5—纵梁

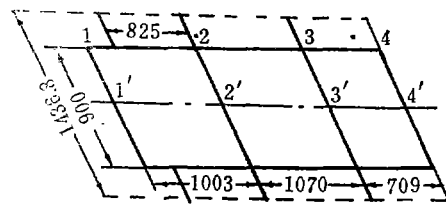


图 2 车架简化为平面框架的几何尺寸(单位mm)

## 车架结构计算简图和外载荷的选取

整个拖拉机车架简化为一个平面框架结构。其几何尺寸见图2和表2。由于车架的纵梁

表 1 车架各杆的断面特征

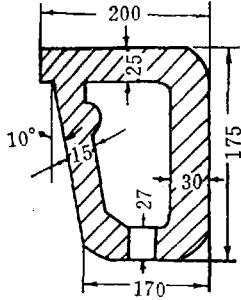
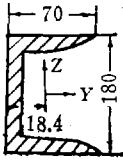
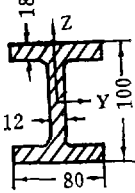
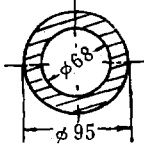
特征	前 梁	纵 梁	前、后 横梁	后 轴
截面几何尺寸 (mm)				
截面面积 $F(\text{cm}^2)$	≈150	29.3	36.5	37.7
中心主惯性矩 $J_y(\text{cm}^4)$	6160	1369.9	518	312.2
中心主惯性矩 $J_z(\text{cm}^4)$	6000	111	154.5	312.2
极惯性矩 $J_d(\text{cm}^4)$	8500	10.5	41.83	624.4
弹性模数 $E(\text{kg/cm}^2)$	$1.4 \times 10^6$	$2.1 \times 10^6$	$1.75 \times 10^6$	$2.1 \times 10^6$
剪切模数 $G(\text{kg/cm}^2)$	$5.6 \times 10^5$	$8.0 \times 10^5$	$6.60 \times 10^5$	$8.0 \times 10^5$

表 2 车架各杆长度及约束扭转强化系数

项 目	杆 号	1-2	2-3	3-4	2-2'	3-3'
杆 长 $L(\text{cm})$		100	107	71	45	45
强 化 系 数 $P$		2.71	4.81	2.25	1.35	1.35

是开口薄壁杆件，在车架翘曲时，由于纵梁通过螺钉和铆钉与前梁、横梁和后轴连接，因此有约束扭转现象产生。这种约束扭转对局部是不利的，在铆钉连接处会产生约束扭转正应力，从而使局部应力加大，但它对于增加纵梁的等效扭转刚度是有利的。等效扭转刚度等于在原有刚度的基础上乘一个强化系数  $P$ ， $P$  值可以通过约束扭转方程和两端的扭转约束条件计算出来<sup>[6]</sup>。各杆的强化系数在表 2 中给出。

在拖拉机越障时，当左前台车轴和右后台车轴同时被垫起时，车架翘曲最为严重。因此选取这种情况下的载荷作为计算载荷。在这种工况下引起车架强烈变形的主要载荷是非对称的垂直方向的载荷。水平方向的载荷如履带摩擦力、驱动力、履带张紧力等影响都很小。因此，只取非对称的垂直方向的载荷为计算载荷。又因为本文所进行的计算主要是在各种结构参数所引起的内力分布及翘曲变形的大小之间进行对比，所以没有考虑惯性力作用。图 3 给

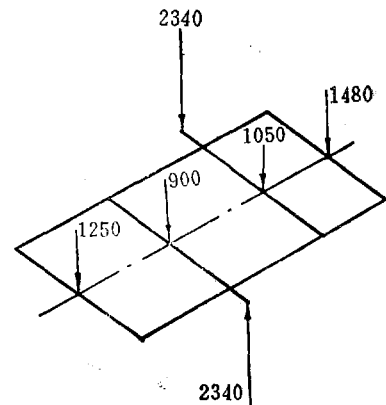


图 3 拖拉机越障静态模拟载荷 (单位kg)

出了计算外载,我们称这种载荷为拖拉机越障静态模拟载荷。

计算以原始车架所考虑约束扭转为基础,然后分别研究车架中当每根杆件刚度发生改变时,内力分布和翘曲变形大小的改变。为了对比东方红-75 拖拉机车架与汽车类型的轻型车架之间的差别,还计算了一种全部杆件由开口薄壁杆件组成的车架。为了探索车架的可能改进的途径,计算了一种全部由封闭的箱形断面组成的车架。为了研究约束扭转对内力分布和车架整体刚度影响的大小,与不考虑约束扭转的计算结果进行了对比。总共计算了 24 种结构参数情况。

## 计 算 方 法

东方红-75 型拖拉机车架可以看作由 10 根杆件组成的静不定结构。计算分析可以采用力法,也可采用位移法。力法的计算程序较为繁杂,但未知数少,需要的机器存储量少。本计算是在小型诺瓦机上进行,

故采用力法。在计算中为了进一步减少未知数,将外载分解为对称载荷和反对称载荷两部分。分别计算了对称载荷和反对称载荷,最后再进行合成。图 4 表示越障垂直载荷的分解。在对称载荷作用下,车架左右两部分的内力分布是对称的,在反对称载荷的作用下,车架左右两部分的内力分布是反对称的,因此两种情况都可以对半个车架进行计算。在采用力法对静不定结构进行计算时,首先是适当地选取多余力,将结构转化为静定结构,

根据变形的协调条件,列出结构的力学正则方程式<sup>[7]</sup>,解出多余力。然后根据平衡条件,计算各杆的内力。再根据单元柔度计算各杆的变形。用虚拟力原理计算节点的位移<sup>[8]</sup>。

在对称载荷作用下,纵梁左右两侧的弯曲是对称的,IV V VI VII 四根杆件不受扭转,因此 5, 6, 7, 8 四个截面扭矩为零。由对称条件还可知 5, 6, 7, 8 四个截面的剪力为零。这四个截面只有如图 5(a) 所示的弯矩作用,根据总体平衡的条件这四个弯矩只有三个是独立的,所以多余力只有三个,与此三个弯矩相应的截面转角为零,根据这个条件求解这三个多余力。在反对称载荷作用下,IV V VI VII 四根杆将受到强烈的扭转,因而 5, 6, 7, 8 四个截面的扭矩不为零,同时剪力也不为零。但是由 IV V VI VII 四根杆件的反对称弯曲可知,5, 6, 7, 8 四点分别为翘曲线的拐点,曲率为零,因此这四个截面的弯矩为零。由总体平衡

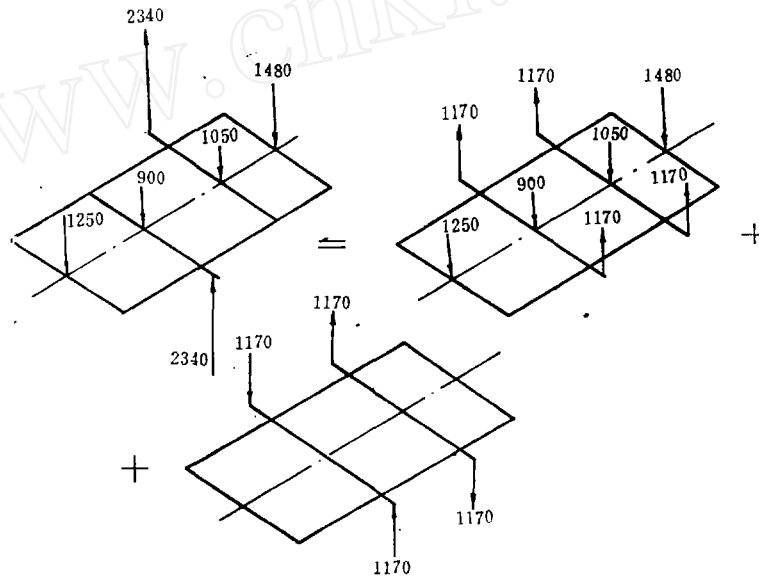


图 4 拖拉机越障静态模拟载荷及其分析

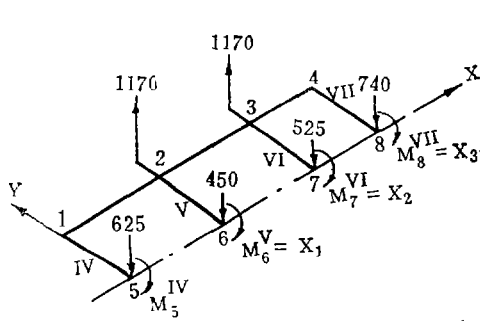


图 5 a. 对称载荷下四个截面的弯矩

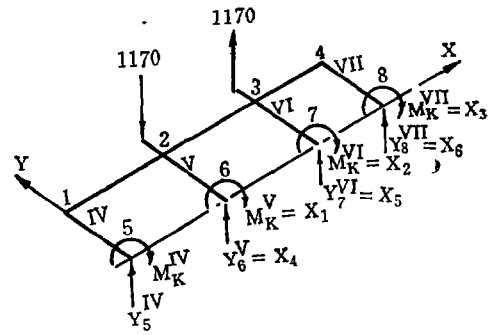


图 5 b. 反对称载荷下四个截面的扭矩剪力

得出独立的多余力只有六个，如图 5(b) 所示。在反对称载荷作用下，5，6，7，8 四个截面的扭角为零，垂直方向的位移为零，根据这些条件求解多余力。

## 计算结果及分析

### 1. 原始车架的内力分布

图 6 给出车架在对称载荷和反对称载荷作用下各杆的弯矩、扭矩图。虚线表示车架的翘曲变形。从图中可以看到，在反对称载荷的作用下，车架各杆受到强烈的弯矩和扭转，整个车架产生翘曲变形。为了比较在结构参数改变时，车架翘曲变形的相对大小，我们以车架前后两个节点（即节点 1 和 4）垂直方向位移之差，作为车架翘曲的度量。从图 6 中我们还可

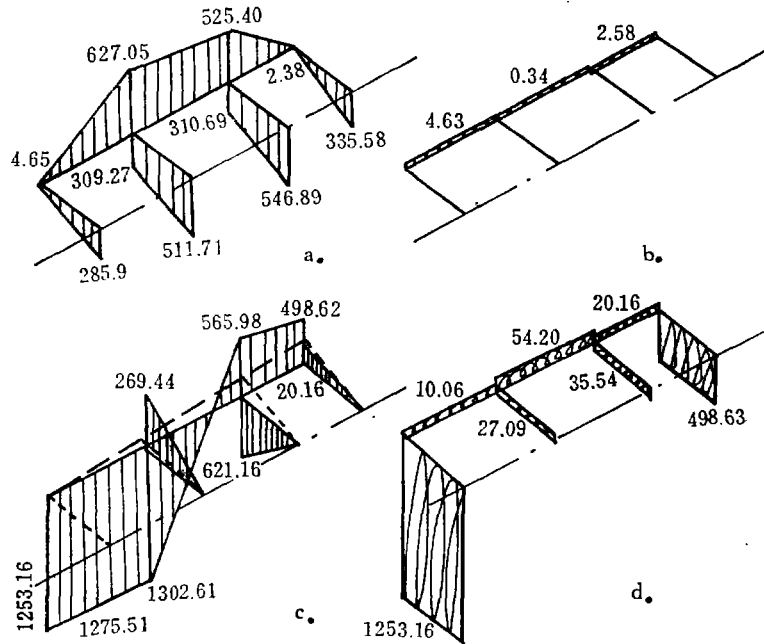


图 6 车架在对称，反对称载荷下各杆的弯矩和扭矩（单位  $\text{kg}\cdot\text{cm}^2$ ）

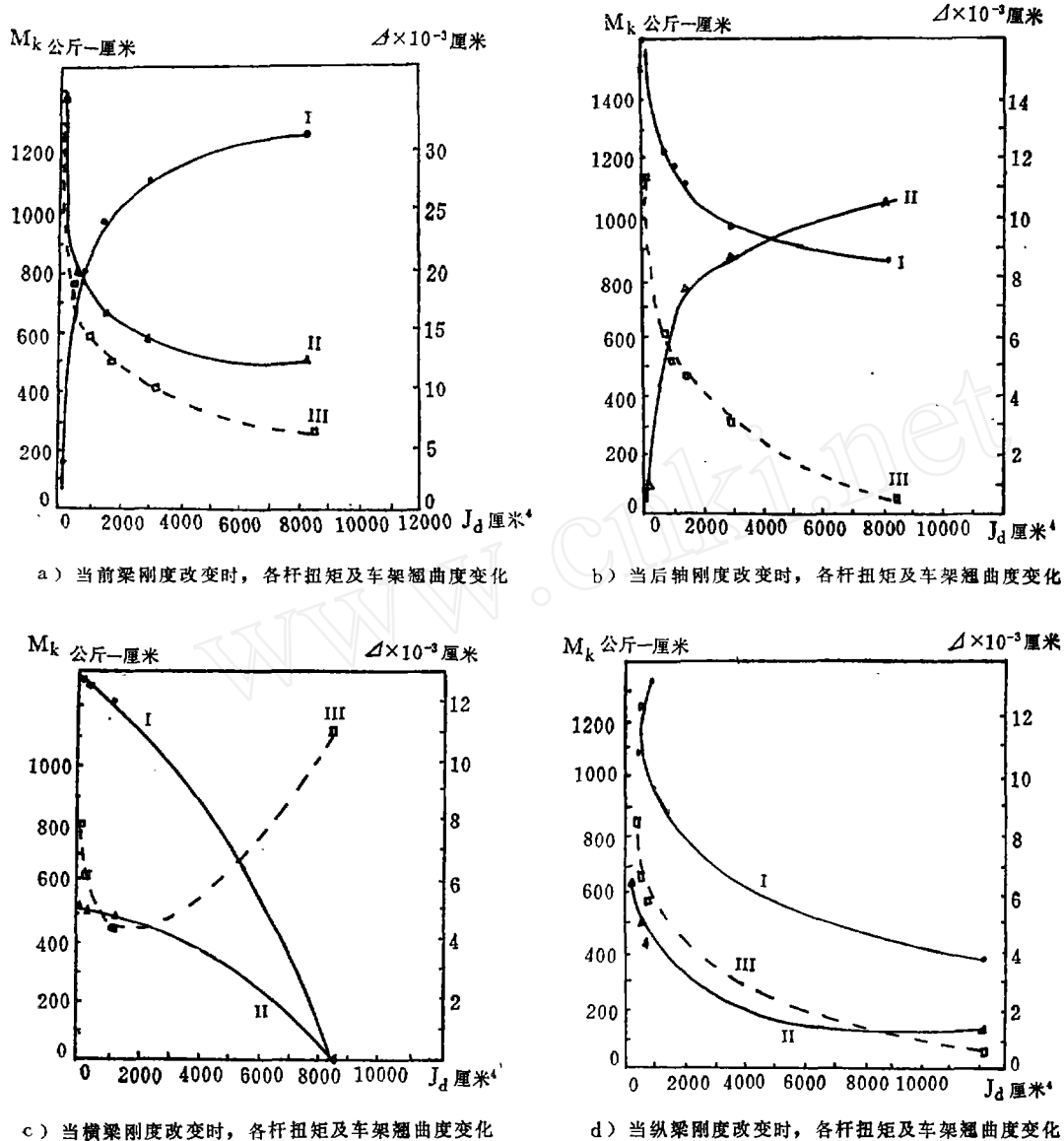


图 7

I. 前梁扭矩 II. 后轴扭矩 III. 翘曲变形

以看到, 在车架翘曲时前梁承受主要的扭矩, 它是主要的承力构件。

## 2. 在每根杆件的刚度改变时、车架内力分布及翘曲变形的改变

图 7(a) 表示当前梁刚度改变时各杆扭矩及车架翘曲度的变化。由图中可以看出, 当前梁刚度减弱时, 前梁承受的扭矩也逐渐减弱, 后轴承受的扭矩逐渐增加, 内力分布向车架后部转移, 车架翘曲度逐渐增加, 这与实测的结果是一致的, 当前梁由箱形断面的铸铁前梁改为开口截面铸钢时, 其刚度大为降低, 结果前梁部位测得的应力降低, 车架后部的应力提高[5]。所以我们在改动一根杆件时要考虑到对车架整体结构的影响。

图 7(b) 表示当后轴刚度改变时, 各杆扭矩及车架翘曲度的改变。从图中可以看出, 当后轴刚度减弱时, 后轴承受的扭矩降低, 前梁承受的扭矩增加, 内力分布向车架前部转移, 车架翘曲度增加。

图 7(c) 表示当横梁刚度改变时, 各杆扭矩和车架翘曲度的改变。我们得到和图 7(a)、图 7(b) 的类似结果。如果中间两根横梁的刚度为无限大, 则整个扭矩被中间横梁所承担。

图 7(d) 表示纵梁刚度改变时, 各杆扭矩及车架翘曲的变化。当纵梁由 18 b 槽钢补焊一块厚度为 10 毫米的钢板而改为盒形封闭断面, 提高其抗扭刚度之后, 内力分布发生了较大的变化。图 8 给出在这种情况下内力分布图, 我们看到, 在这种情况下, 内力分布比较

表 3 车架各杆垂直抗弯刚度、水平抗弯刚度、抗扭刚度比较 (单位 kg-cm)

刚度 \ 杆件	前 梁	纵 梁	前、后 横梁	后 轴
垂直抗弯刚度	$1.4 \times 10^6 \times 6160$	$2.1 \times 10^6 \times 1369.9$	$1.75 \times 10^6 \times 518$	$2.1 \times 10^6 \times 312.2$
	$8.62 \times 10^9$	$2.88 \times 10^9$	$9.06 \times 10^8$	$6.55 \times 10^8$
水平抗弯刚度	$1.4 \times 10^6 \times 6000$	$2.1 \times 10^6 \times 111$	$1.75 \times 10^6 \times 154.5$	$2.1 \times 10^6 \times 212.2$
	$8.40 \times 10^9$	$2.33 \times 10^8$	$2.70 \times 10^8$	$6.55 \times 10^8$
抗扭刚度	$5.6 \times 10^5 \times 8500$	$8 \times 10^5 \times 10.5$	$6.60 \times 10^5 \times 41.83$	$8 \times 10^5 \times 624.4$
	$4.76 \times 10^9$	$8.4 \times 10^6$	$2.76 \times 10^7$	$5 \times 10^8$

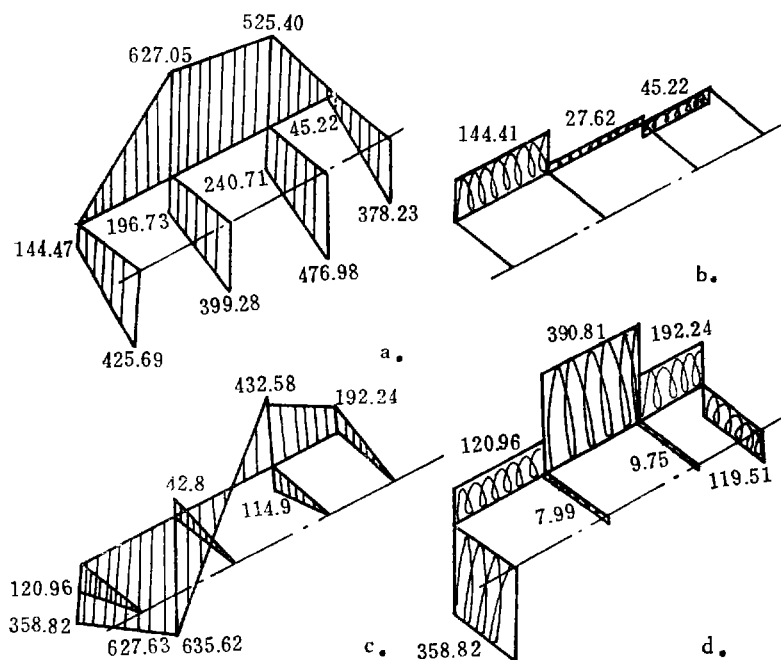


图 8 当纵梁由 18 b 槽钢补焊一块钢板时, 车架各杆内力分布图  
a. 对称载荷弯矩 b. 对称载荷扭矩 c. 反对称载荷弯矩 d. 反对称载荷扭矩

均匀,前梁和后轴承受的扭矩大为降低。同时车架的翘曲变形也只有原车架的 $1/3.57$ ,这说明提高车架纵梁的抗扭刚度对于改进车架的受力、增加车架的刚度有显著的效果。原车架的刚度太弱。表3给出车架各杆垂直抗弯刚度、水平抗弯刚度及抗扭刚度的比较。原车架纵梁的抗扭刚度为前梁的 $1/566$ 、为后轴的 $1/60$ ,水平方向的抗弯刚度为前梁的 $1/36$ ,为后轴的 $1/3$ 。这是目前车架刚度和强度不足的主要原因。

### 3. 全部杆件由18b槽钢组成的轻型车架

图9给出这种车架的内力分布图,我们看到内力分布相当均匀。但是由于每根杆件的抗扭刚度很低,所以车架的翘曲变形很大,为原车架的9.3倍。从这里我们可以看到东方红-75型拖拉机采用箱形断面铸造前梁的目的是要提高车架的抗翘曲能力。拖拉机在恶劣的环境下工作,总是在高低不平的路面上行驶,又没有缓冲装置,故提高车架的抗翘曲能力有很大的意义。但是由于东方红-75车架只是片面地提高了前梁的刚度,造成车架受力极不均匀,在翘曲时,前梁承载过大,这是目前前梁经常损坏的一个重要原因。为了进一步提高车架的刚度,并使内力分布更加合理,应设法加强纵梁刚度,特别是加强抗扭刚度。

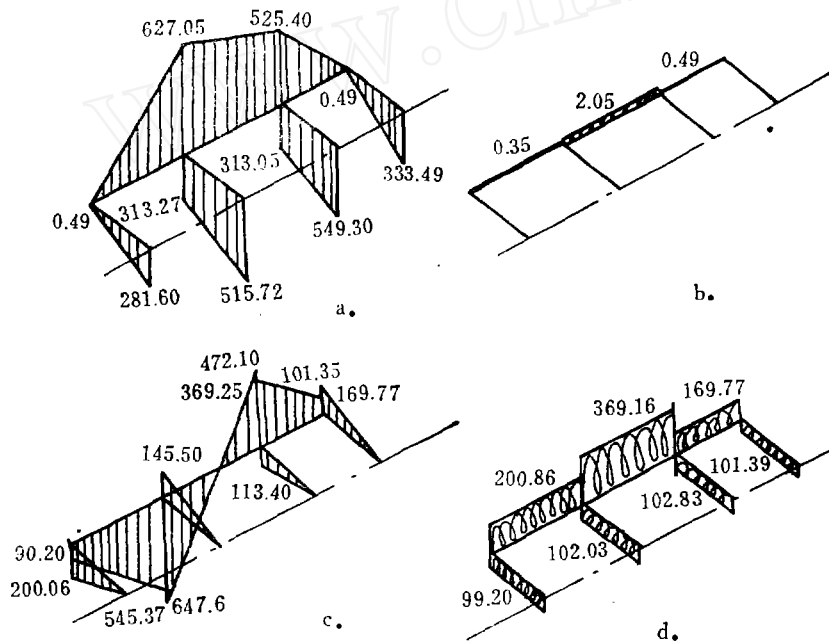


图9 全部杆件由18b槽钢组成的轻型车架各杆内力分布图

a. 对称载荷弯矩 b. 对称载荷扭矩 c. 反对称载荷弯矩 d. 反对称载荷扭矩

### 4. 全部杆件由18b槽钢改进的盒形梁组成车架

图10给出这种车架内力分布图。我们看到这种等截面杆件组成的车架内力分布也比较均匀。但是由于每一杆件的抗扭刚度大大增加,其翘曲度只有槽钢车架的 $1/40$ ,这也说明提高每一杆件的抗扭刚度,对于改进平面框架结构的抗翘曲能力是有帮助的。

### 5. 纵梁与横梁节点连结刚性减弱:

当纵梁与横梁节点连结刚性减弱时,纵梁(开口薄壁杆件)的约束扭转减弱。图11给

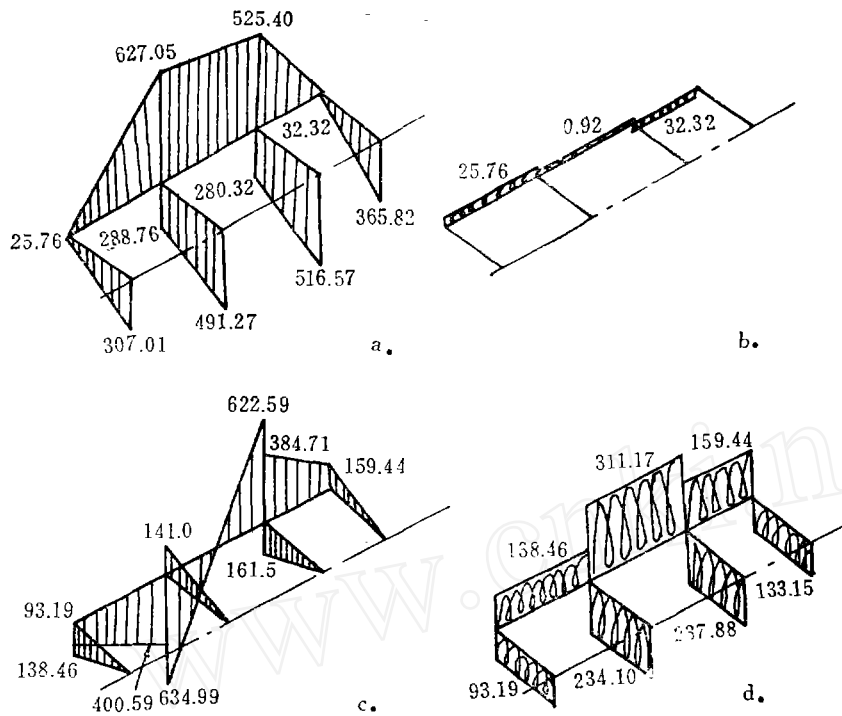


图10 全部杆件由 18 b 槽钢改进的盒形梁车架各杆的内力分布图

- a. 对称载荷弯矩
- b. 对称载荷扭矩
- c. 反对称载荷弯矩
- d. 反对称载荷扭矩

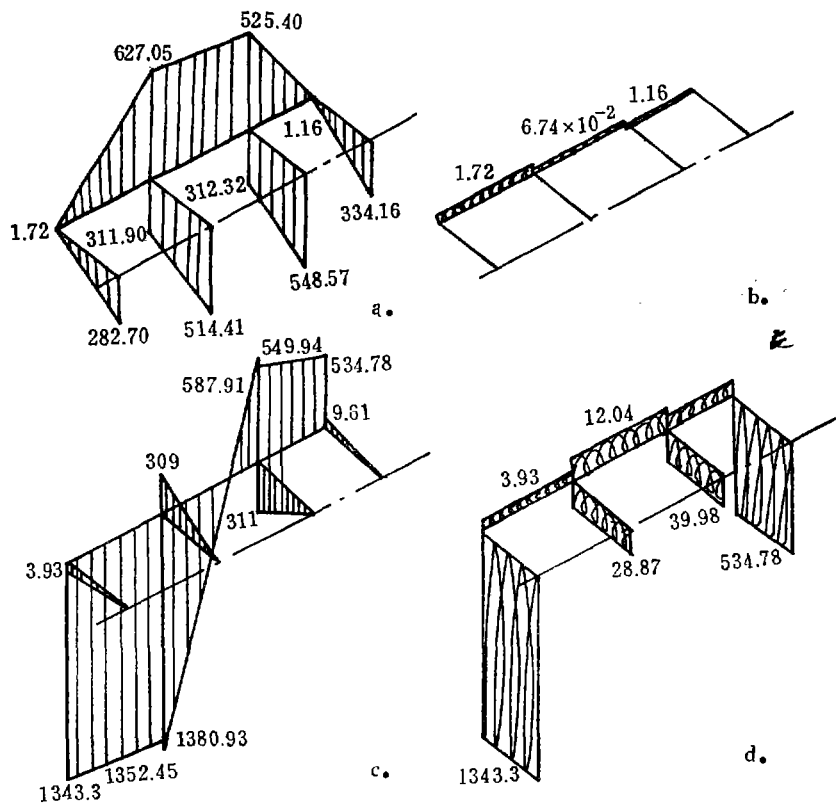


图11 不考虑约束扭转车架的内力分布图

- a. 对称载荷弯矩
- b. 对称载荷扭矩
- c. 反对称载荷弯矩
- d. 反对称载荷扭矩



出原车架不考虑约束扭转时的内力分布。与原车架相比,我们看到当约束完全放松时,前梁和后轴承受的扭矩有所增加,车架的翘曲度也有所增加。这说明节点连结刚性的强弱,对车架的整体刚度有一些影响。

## 结 论

1. 东方红-75型车架在受到翘曲作用时,各杆受到强烈的弯曲和扭转。由于车架前梁的刚度较其它杆件大的多,所以在翘曲时,前梁承受主要的扭矩,它是主要的承力构件。

2. 目前,东方红-75拖拉机车架的纵梁刚度不足,在车架翘曲时,前梁承载过大,这是前梁经常断裂的一个主要原因。同时,由于纵梁刚度不足,致使整个车架的刚度不足。为了使车架内力分布更为合理,车架刚度进一步提高,必须设法提高纵梁的刚度,例如由槽形梁改为盒形梁将会有显著的效果。

3. 在静不定结构中,一个部位刚度的改变就会引起内力分布的变化。在研究车架的改进方案时,应该注意到一个部位的改变对整个车架的影响。

4. 在平面框架结构中,增加每一根杆件的抗扭刚度,可以改善整个结构的抗翘曲能力。

5. 节点连结刚性的强弱对开口薄壁杆件车架的内力分布及整体刚度有一定影响。当节点连结刚性减弱时,由于开口薄壁杆约束扭转减弱,使整个车架的抗翘曲能力有所降低。

## 参 考 文 献

- 〔1〕 陆耀楨、宗立文,“东方红-54型拖拉机车架受载情况和大梁应力分布的实测”,西安交通大学,1964.10.
- 〔2〕 周康年、蒋咏秋,“节点弹性对东方红履带式拖拉机静强度的影响”,西安交通大学,1964.4.
- 〔3〕 С. С. Дмитриленко., Тракторы и Сельхозмашины, №. 11, 1960 г.
- 〔4〕 曾春华、郁兰琪,“东方红75拖拉机及60推土机损坏维修情况的调查报告”,中国科学院力学所,1978.
- 〔5〕 殿匡中、曾春华等,“东方红-60推土机车架的田间实测” 洛阳拖拉机厂,1978.
- 〔6〕 Н. М. Беляев., Сопротивление Материалов, Р. 548, Машгиз Москва 1959 г.
- 〔7〕 杜庆华,“材料力学”下册,Р. 256,高等教育出版社,1958年.
- 〔8〕 北方交通大学,结构矩阵分析,建筑工业出版社,1974年.

# INNER FORCE DISTRIBUTION AND WAR- PING DEFORMATION OF DONG FANG HONG-75 TRACTOR FRAME

*Wu Yi-sheng    Zeng Chun-hua    Tian Ping*

*(The Institute of Mechanics, China Academy of Sciences)*

## Abstract

The inner forces of the frame subjected to warping deformation are calculated and analyzed in the way of structural matrix moment method. A systematic study of the inner force distribution of the frame with changing structural parameters and the important reasons for the insufficiency in strength and rigidity of the frame is carried out. A method of improving the strength and rigidity of the have been suggested in this paper.