

# 装载机前车架的空间结构有限元模型

张卧波

(济南职工科技大学)

**摘 要** 该文为装载机前车架空间结构研制了结构尺寸参数可变的有限元建模程序, 详细介绍了建模方法和建模程序的结构组成及各功能子程序, 并通过数据格式的转化生成可直接被ADINA 软件调用的模型数据文件。利用该建模程序和ADINA 分析程序构成的分析系统, 只需输入若干个车架基本尺寸参数, 就可自动完成模型的数据生成及计算分析, 并对ZL60D 前车架进行有限元强度计算分析。通过计算, 对其设计提出了改进意见。计算结果证实了该结构模型的正确性及实用性。

**关键词** 装载机 前车架 有限元 模型

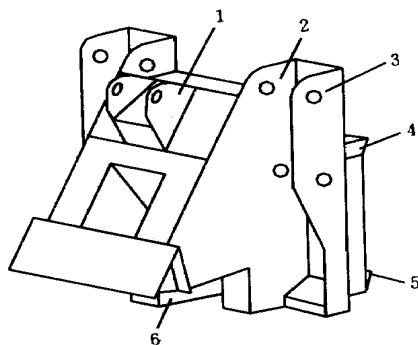
装载机前车架是整机强度、刚度设计的关键部件之一, 其结构复杂、承载量大。在保证计算方法精确、可靠的前提下, 关键是建模问题。本文通过对ZL60D 装载机前车架结构的研究, 编制了参数有限元建模程序, 通过变参数输入, 可建立不同结构尺寸的分析模型。该程序中包含自动生成网格, 按约束位置自动生成等功能, 使用者仅需输入若干个前车架基本尺寸参数, 即可自动完成模型的数据生成及计算分析, 使得在相似结构型式需要变化结构尺寸时, 修改模型极为方便。该专用建模程序的编制, 一方面可免去大量而繁琐的建模工作, 另一方面由于允许前车架尺寸参数变动, 扩大了程序的适用性。

## 1 有限元建模

前车架直接关系到整机的使用性能。图1为ZL60D 装载机前车架的结构简图, 其结构是三维问题, 具有纵向对称面。前车架结构和受载情况非常复杂, 要建立高效、合理的计算模型并不容易, 本文应用有限元法, 详细讨论其建模方法。

### 1.1 模型的建立

单元划分应既要力求准确反映原结构特性, 又要易于生成建模程序。因前车架是薄板焊接件, 薄板件宜采用板壳单元; 而四边形单元易于编制自动建模程序, 图形规整, 所以选择四边形板壳单元对前车架进行网格划分。如图2所示。网格划分时, 先将整个车架划分为几个大的四边形区域, 各区域的四个顶点尽量位于模型边界上直线与直线或直线与弧线的交点上, 然后分别给出各区域边上单元划分, 要求四边形的两对边单元分割数相等, 随后分别对每个区域进行对边相应点连线即可顺利实现网格划分。利用结构的对称性可简化网格划分过程, 即左



1 翻转缸耳板 2 内侧板 3 外侧板  
4 上牵引板 5 下牵引板 6 连接板

图1 前车架结构简图

Fig. 1 The scheme of front frame

右两片基本上是对称的,在进行左右片网格划分时,可先划分左片,再将左片结果复制到右片。节点自由度为 6。各铰接孔处的加强板采用相应单元赋以不同的单元厚度。其计算共 160 个关键点,形成了 142 个区域,单元数为 1110,节点数为 1122。进行节点单元编号时,在每个四边形区域或几个四边形区域内节点、单元编号尽量连续或有一定规律的间隔,这将给建模程序的编制带来方便。

### 1.2 边界条件

约束上、下牵引板孔上节点 3 个自由度,即  $u_x = 0, v_y = 0, w_z = 0$ , 以表示与后车架的球铰链联接。约束连接板与前桥连接部位范围内的所有节点,沿上下和左右两个方向的移动自由度,即  $v_y = 0, w_z = 0$ 。

## 2 建模程序设计

### 2.1 基本参数设置

描述前车架形状需涉及许多相对尺寸参数,如将所有尺寸均作为参数输入则会由于输入数据过多而造成使用上的不便。为此本文将相关尺寸参数分别以“基本参数”和“从动参数”等。沿长、宽、高三个方向的主要尺寸作为需输入的“基本参数”。根据该机前车架的结构特征,选取了其中 30 个结构尺寸作为基本尺寸参数,其它相关尺寸即为“从动参数”,而“从动参数”随“基本参数”而变。

### 2.2 程序设计

采用 Turbo C 语言编程,共包含 1 个主程序和 7 个子程序,程序结构如图 3 所示。首先采用人机对话式进行基本尺寸参数的输入,对需输入的前车架每个参数均有详细的文字提示及取值范围。输入参数及关键点坐标计算时,屏幕上将显示各参数含义的图像及文字提示,输入参数包括前车架结构的 30 个基本结构尺寸参数。程序根据这些参数计算体现其结构特征的关键点坐标,即结构边界上的拐点坐标,各孔的圆心及边界和内部的一些特殊定位点等的坐标。

节点、单元数据生成均采用两级子程序结构,其中子程序 NODE 的功用是根据输入的基本尺寸参数计算各节点的节点坐标进行区域网格划分,它针对由 4 个相邻关键点所构成的四边形区域进行有限元

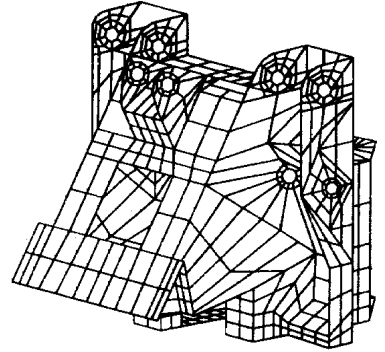


图 2 有限元建模

Fig 2 FEM modelling

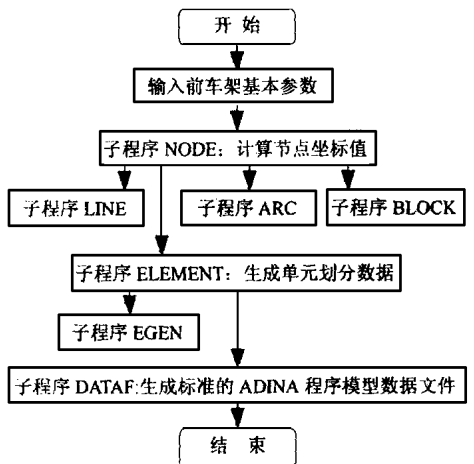


图 3 建模程序结构框图

Fig 3 Flow chart of the modelling program

网格自动划分,生成各区域内的节点。节点坐标的计算方法为,按输入参数算出各个“关键点”的坐标,“关键点”是指边界直线段端点、弧线段端点及弧中心点等。所有节点的坐标值随输入不同的基本参数值而变化,从而可使前车架的形状及尺寸发生一定变化。在此基础上,通过分别调用 3 个二级节点派生子程序,即直线上节点插值子程序 LINE,圆弧上节点插值子程序 ARC 及区域内节点生成子程序 BLOCK,方便地生成其它节点的节点坐标值。为了便于定义边

界约束条件, 设计了约束自动施加子程序 L N E 和 A R C。子程序 L N E 和子程序 A R C 的功用是按约束部位的空间几何特征和单元类别进行约束施加, 也可指定按点、线段、圆周或面几种几何特征将约束自动施加到相应的节点上以便于定义边界约束条件。子程序 B L O C K 的功用是适应一对边为曲边的空间区域, 区域划分时需同时给出四边形边界上的单元分割数, 以控制区域网格划分密度, 并能将造成相邻区域边界上的重合节点加以合并, 以形成整体统一的有限元网格。重合节点的判定原则是两节点的接近程度小于给定偏差。

子程序 E L E M E N T 的功用为生成单元划分数据。除个别不规则的单元划分需通过赋值语句直接定义单元节点数据外, 单元及节点编号有规律的大量单元可通过调用单元派生二级子程序 E G E N 生成单元节点数据。

以上所编制的节点、单元派生二级子程序均属通用子程序, 可以编制其它专用建模程序时被直接调用。在上述 N O D E 和 E L E M E N T 子程序中均使用了循环语句, 以派生出对称结构的大量节点、单元数据, 使网格数据生成更趋简化。子程序 D A T A F 用于按 A D N A 程序模型数据格式, 将节点、单元数据写入相应的模型数据文件, 同时直接向模型数据文件写入主控信息、边界位移约束信息及载荷信息等, 以构成完整的模型数据文件, 实现建模程序与上述各通用有限元分析程序的接口。

3 前车架结构模型及程序的应用

利用上述有限元建模程序并利用 A D N A 程序就可对 Z L 60 D 装载机前车架进行结构强度计算与分析。

3.1 程序应用与方法

在进行前车架强度计算时, 通常前车架与工作装置由动臂铰点、翻斗缸、动臂缸连接在一起, 这时可将动臂铰点作为工作装置的支点, 液压缸用弹簧代替, 把动臂铰点各方向上的支反力与液压缸作用力作为载荷加在前车架上来进行强度计算。

装载机前车架所施加的载荷包括: 车架自重、掘起力、铲入力、动臂、举升缸、翻斗缸传递来的工作载荷。其中车架自重载荷按体积力施加, 在给出密度和重力加速度的条件下, 由分析程序自动计算并施加。根据载荷作用在铲斗切削刃上的铲掘位置作为计算位置来确定工作载荷。装载机在铲掘物料的工作过程中受载最严重, 根据装载机在铲掘物料时的工作情况, 可得如下 3 种典型计算工况:

工况 1 掘起力和铲入力分别为 151.12 kN、62.24 kN, 载荷作用于距斗边 1.26 m。

工况 2 掘起力和铲入力分别为 151.12 kN、62.24 kN, 载荷作用于距斗边 1/3 处。

工况 3 掘起力和铲入力分别为 151.12 kN、62.24 kN, 载荷作用于斗宽中间处。

工况 1、2 是偏载工况, 工况 3 是正载工况。在正载工况, 各部件对称两部分结构中应力及位移对称分布, 同一工况只需一次计算。偏载工况则分解为对称和反对称两种工况, 分别计算, 然后将两次计算结果进行叠加, 得到该部件的应力分布。同一工况需两次计算。前车架最严重的受载工况是偏载工况, 本文只计算偏载工况。

表 1 关键部位的最大应力  $\sigma_{\max}$

Tab. 1 The maximum stress in the key places and parts M P a

关键部位名称	应力值 $\sigma_{\max}$
外侧板上铰孔	106.41
外侧板下铰孔	95.62
外侧板底部	88.73
内侧板上铰孔	101.52
内侧板下铰孔	89.76
耳板孔	88.92
连接板	88.62
上牵引板	68.51
下牵引板	67.94

### 3.2 计算结果与分析

通过对工作装置的受力分析, 求得其传递来的工作载荷的大小和方向, 并按节点力处理, 计算前车架应力及变形, 求得最大应力和最大位移, 得到其应力分布和变形规律。其关键部位的应力计算结果见表 1。前车架顶部变形  $x$  方向位移 0.8 mm,  $y$  方向位移 0.5 mm。

由计算结果可看出:

- 1) 前车架应力、变形及位移水平均较低, 其应力峰值远低于材料的许用应力, 说明该车架有足够的强度和刚度。
- 2) 内、外侧板上、下铰孔处, 耳板孔, 连接板, 上、下牵引板这些部位应力较高。因此, 在前车架设计中应考虑这些因素, 避免局部区域受力较大或形成应力集中区。
- 3) 在偏载工况下, 前车架受力较严重, 其中外侧板上铰孔处受力最大。
- 4) 在偏载工况下, 内侧板还承受横向扭曲变形。

### 4 结 论

- 1) 本程序中的节点、单元派生二级子程序: LINE, ARC, BLOCK, EGEN 均属通用子程序, 都可以在编制其它建模程序时被直接利用。
- 2) 该程序可方便地对一系列尺寸不同、结构相似的车架进行有限元建模和分析, 具有通用性和实用性。
- 3) 用本文提出的有限元建模程序和 ADINA 分析程序进行装载机前车架结构强度计算, 即可提供合理的计算工况和较为准确的计算载荷及边界条件, 又能得出在各种工况下的应力分布情况。其计算结果准确可靠, 同时, 设计方法也可供其他机型设计参考。
- 4) 在对前车架进行结构分析时取结构的一半建立模型, 可以减少计算工作量节省机时, 并在此分析的基础上作进一步细化处理, 得到结构的关键部位、局部区域的分布及变形大小。

### 参 考 文 献

- 1 O B Beskos Boundary Element Method in Mechanics Elsevier Science Publishers B V, 1987
- 2 赵汝嘉 机械结构有限元分析 西安: 西安交通大学出版社, 1990
- 3 龙驭球 有限元法概论 北京: 高等教育出版社, 1991
- 4 谢贻权, 何福保 弹性和塑性力学中的有限单元法 北京: 机械工业出版社, 1981

## Study and Analysis on the Structure of the Front Frame of a Loader Using Finite Element Method

Zhang W obo

(Jinan Staff University of Science & Technology, Jinan, 250014)

**Abstract** A parametric finite element modelling program was developed orienting to the special structure of the front frame of a loader, and the modelling method was introduced in detail as well as the structure and subroutine of the program. Model data file used by ADINA software was also generated through converting data format. The finite element strength calculation and analysis on the front frame of ZL60D were developed. Modified suggestion to the design based on the calculation was presented. The calculated results proved that the model program is accurate and useful.

**Key words** loader, frame, finite element, model