

# ZL80 型轮式装载机动臂结构件两种结构分析方法的比较

秦四成<sup>1</sup>, 王克军<sup>2</sup>, 王雪莲<sup>1</sup>

(1. 吉林大学机械科学与工程学院 2. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所)

**摘 要** 大型轮式装载机动臂部件是关键结构件, 在恶劣工作环境中, 容易因破坏而失效。采用两种方法对其进行分析: 一种是应用多体动力学与有限元相结合的方法, 首先在 ADAMS 中建立装载机整体结构件系统的刚-弹耦合动力学模型, 进行作业过程的动力学分析, 然后在 ANSYS 中建立整体结构件系统的三维有限元模型, 研究各部件间连接的模拟, 对装载机工作过程典型工况进行有限元分析, 获得动臂结构性能特征; 另一种是应用传统方法, 对动臂部件单独分析, 找到动臂上的危险部位。对两种方法进行对比, 结果表明: 刚-弹耦合整体系统结构分析, 可精确求得各铰点受力大小, 使整个系统动力学仿真更加接近真实情况。基于刚-弹耦合的多体系统模型, 考虑各部件间相互影响, 可以更加直观地发现整体结构中的薄弱部位, 而薄弱环节就是实际使用中出问题的部位, 由此说明装载机刚-弹耦合整体系统结构分析的合理性与实用性。

**关键词** 轮式装载机 动臂 刚-弹耦合 多体动力学 有限元分析

ZL80 型轮式装载机是大型机种, 其工作装置中的动臂结构件是装载机的关键部件。对关键结构件性能与可靠性的研究一直是行业所关注的问题, 传统的有限元分析方法主要是针对动臂单个部件进行研究, 边界条件的施加及载荷的传递等均与实际情况有所出入, 不可避免地会出现动臂局部强度分配不合理现象。本文应用刚-弹耦合方法建立工作装置、车架系统的多体动力学整体模型, 进行正载、偏载工况动力学仿真并精确求得关键铰点受力特征; 建立整体结构件系统的有限元模型, 进行整体结构有限元分析, 找出动臂结构中的薄弱环节, 并对两种方法进行比较, 给出性能评价。

## 1 整体系统模型结构分析

### 1.1 整体结构件系统刚-弹耦合模型

ZL80 型轮式装载机整体结构件系统主要包括: 铲斗、动臂、拉杆、摇臂、动臂液压缸、转斗液压缸、前车架、后车架以及转向液压缸。如图 1<sup>[1]</sup>所示, 前车架通

过两点和前桥固定, 前车架和前桥相对两个前轮轮心连线的速度瞬心即为  $A$ 、 $A1$ , 后车架通过一点和后桥铰接, 释放绕图中  $Y$  轴方向的转动自由度(这样装载机在凹凸不平的道路上行驶时仍可保证 4 轮着地, 增加装载机在恶劣环境下行驶时的平稳性), 此点位于后桥上两个后轮中间的位置, 即  $B$  点。这 3 点在进行仿真分析时施加位移边界条件。假设两个前轮轮心连线的中点处为空间坐标系的原点, 则这三点的空间坐标为  $A(525, 0, 0)$ 、 $A1(-525, 0, 0)$ 、 $B(0, 3530, 0)$ 。

装载机工作装置的作业阻力, 主要包括插入阻力、掘起阻力、物料重力以及结构部件自身重力, 正载工况将载荷沿  $X$  方向均布施加, 偏载工况在距离铲斗一端 1/4 斗长处施加集中力。

根据装载机实际作业过程中载荷的传递特征, 为使各连接处受力接近实际情况, 将装载机整体结构件系统中各关键组成部分视为弹性体, 将前、后桥的 3 个支撑点施加刚性约束, 从而构成在动力学仿真中的刚-弹耦合多体系统模型, 如图 2<sup>[1]</sup>所示。多

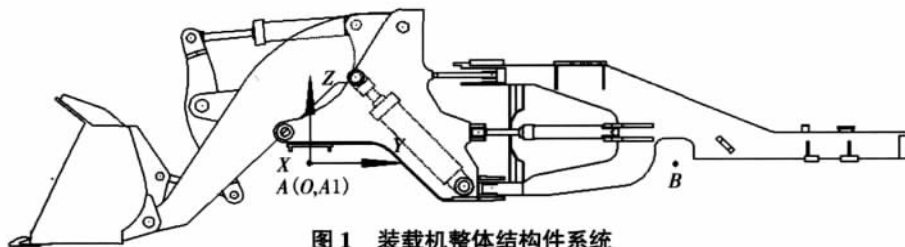


图 1 装载机整体结构件系统



图 2 刚-弹耦合多体系统模型

体系统模型建立后,需要创建约束副来定义各个部件之间的运动关系,进行各个弹性体校验、模态选取及各种设置。

### 1.2 关键铰点动力学分析

装载机作业的典型工作过程包括插入、掘起、举升、满载运输、卸载和空载运输。作业时作业阻力主要是铲斗插入料堆时的插入力、转斗翻转时的掘起力和动臂举升时的物料重力<sup>[2]</sup>。

利用装载机整体结构件系统刚-弹耦合多体系统模型,针对结构件系统关键铰点,如图 3 根据装载机作业特点,分正载工况和偏载工况,通过 ADAMS 动力学仿真,对整体结构件进行动力学分析。通过对结构件系统的刚-弹耦合,将各关键部件视为弹性体,在各种作业工况下,可以精确地求得各个铰点的受力情况,从而使整个系统的动力学仿真更加接近真实工况。

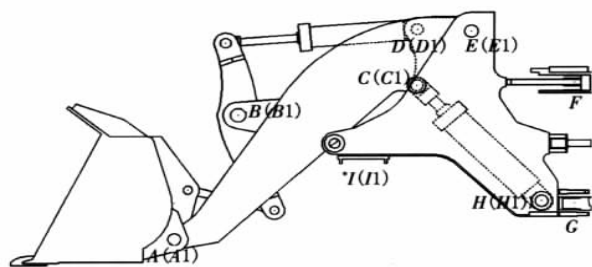


图 3 结构件系统关键铰点

### 1.3 整体结构件系统有限元分析

考虑到现有软件特点及建模效率,对装载机整体结构件系统先在 CATIA 中建立几何模型,通过接口导入到 ANSYS 中,考虑到计算效率,采用 solid45 单元对模型进行单元划分。图 4<sup>[1]</sup>是整体结构件系统有限元模型,共有 193 343 个单元。

在进行有限元求解前,必须对系统进行约束。考虑到前后驱动桥的结构刚度特征,以及装载机实际作业过程中的工作状态,前桥与前车架、后桥与后车架间的约束处理,如图 5、图 6 所示。

液压缸理想化成 1 个二力杆,分析过程中不关

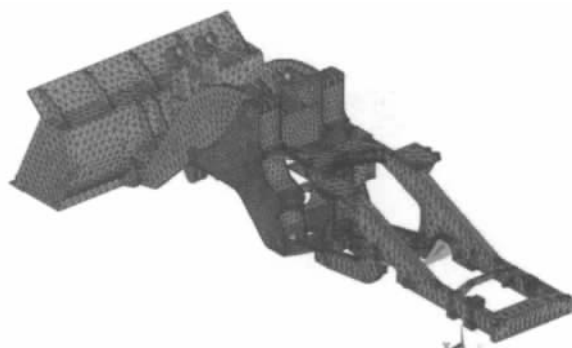


图 4 整体结构件系统有限元模型

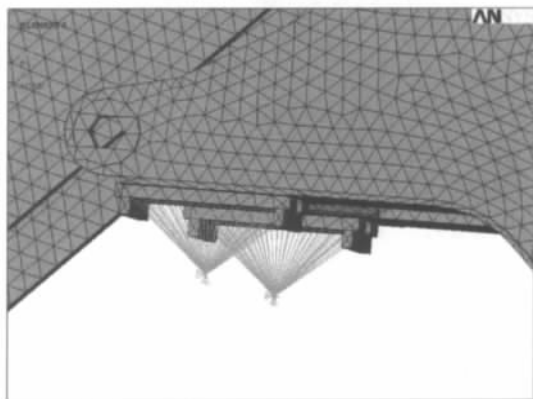


图 5 前车架约束处节点处理

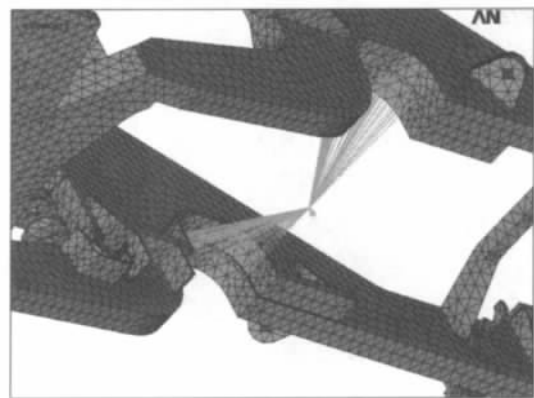


图 6 后车架约束处节点处理

心各个液压缸的应力大小以及位移变化,所以采用梁单元来模拟<sup>[3-5]</sup>。单元的横截面面积、弹性模量和泊松比由相应液压缸的横截面积和活塞杆材料的弹性模量与泊松比决定,同时还可以反映压力释放值的影响,图 7 是装载机转斗液压缸受力图。

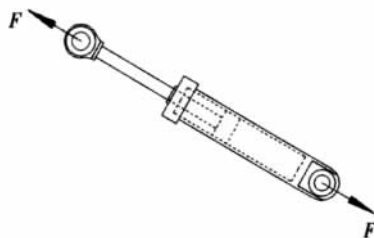
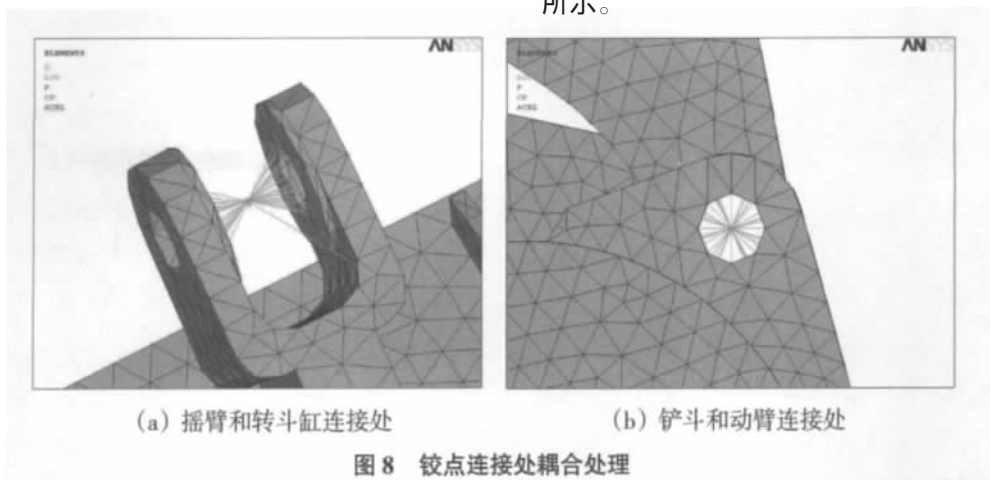


图 7 液压缸受力

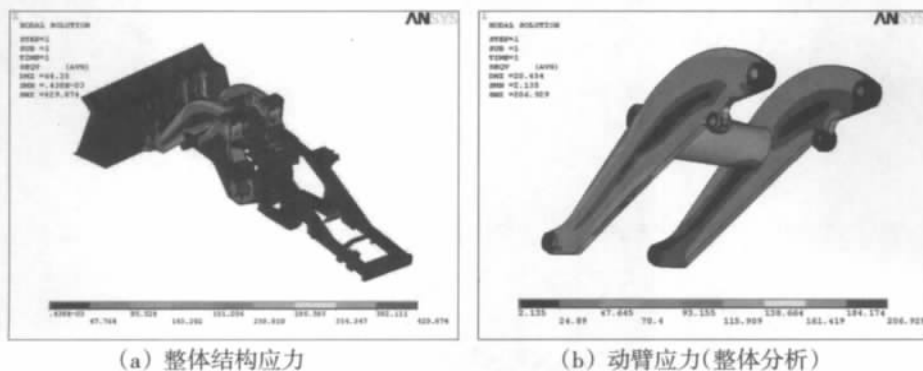
对系统各铰点连接处均采用两个重合的节点耦

合并释放一定自由度来模拟实际销轴连接, 如图 8 所示。



参照装载机实际工作中的作业过程, 可进行正载掘起工况、正载铲入工况、偏载掘起工况、动臂水平工

况、举升最高工况等有限元分析。图 9 给出正载掘起工况应力云图, 图 10 给出偏载掘起工况应力云图。



## 2 动臂部件单独结构分析

### 2.1 动臂铰点载荷确定

传统方式中对动臂的单独分析, 是建立动臂受力简图(见图 11), 在铲斗上施加插入力和掘起力, 利用静力学分析列方程进行计算得到各个铰点力。

正载工况掘起力作用下动臂铰点的受力相对易于确定, 偏载工况下动臂的受力情况较复杂, 现多根据文献介绍的方法, 进行一定简化和近似, 计算得到偏载掘起工况下的动臂各铰点的受力( $D$ 、 $D1$  施加位移约束), 计算较保守<sup>[6]</sup>。而利用上述建立的刚-弹耦合整体结构系统模型进行动力学分析, 可得到偏载

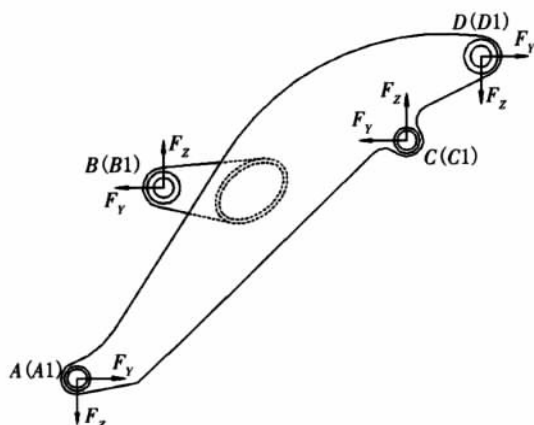


图 11 动臂受力图

工况下动臂各铰点的受力大小,这种方法与实际情况相当,各铰点力也较精确。

## 2.2 动臂结构分析

传统方式均以动臂后铰点作为刚性支撑点,建立有限元模型,如图12,分别施加各工况下的载荷,进行结构分析。得到正载工况掘起力作用下动臂应力云图,如图13。偏载工况掘起力作用下动臂应力云图,如图14,其中(a)图中的精确载荷是基于1.2的方式得到的。



图 12 动臂单独分析模型

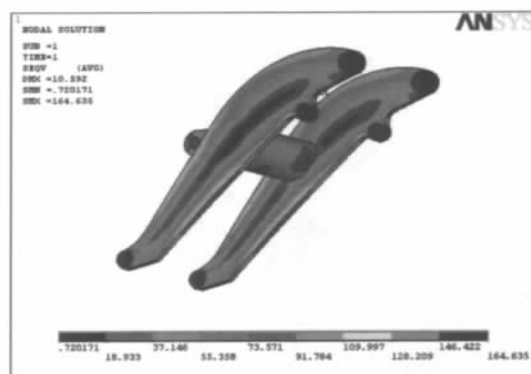
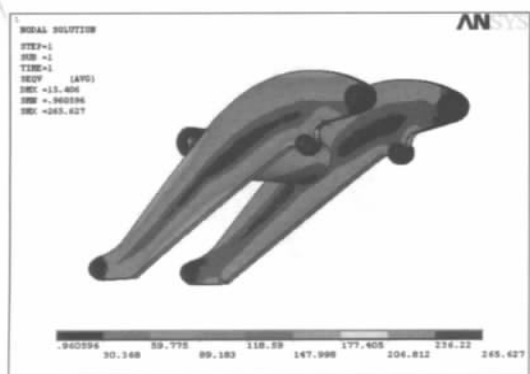
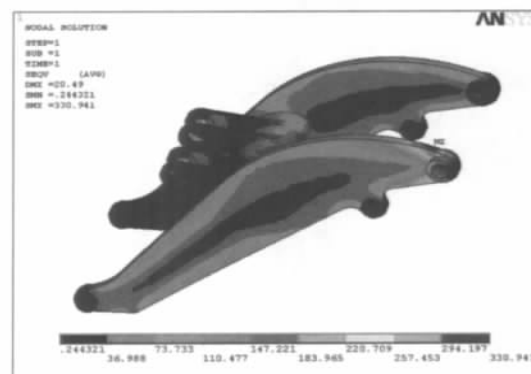


图 13 正载掘起时动臂应力云图



(a) 精确载荷 - 动臂应力



(b) 传统载荷 - 动臂应力

图 14 偏载掘起时动臂应力云图

## 3 结果对比

### 3.1 量值分析

根据装载机的工作特征,参照动臂部件在实际使用中往常出问题的具体情况,以动臂上的关键位置(图15)对比偏载工况掘起力作用下动臂应力数值关系,如表1所示。

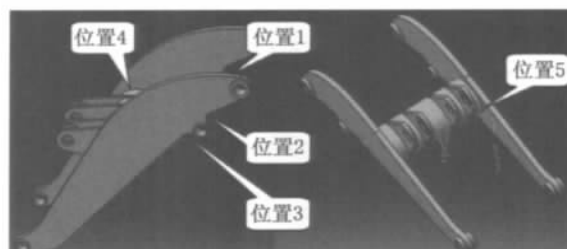


图 15 动臂结构关键位置



表 1 动臂结构关键位置偏载掘起工况应力比较

研究 方向	应力 /MPa				
	位置 1	位置 2	位置 3	位置 4	位置 5
刚 - 弹 耦合整 体研究	120.13	206.93	193.43	172.12	187.10
精确载 荷单独 研究	119.27	265.63	239.32	164.60	148.67
传统载 荷单独 研究	330.94	240.80	146.06	130.27	142.25
传统研 究与整 体研究 变化	+64%	+14%	-32%	-32%	-32%

由表 1 可知,以传统载荷进行动臂单独部件的结构研究,相对于刚 - 弹耦合的整体系统下的动臂结构研究,动臂上位置 1、位置 2 结构强度相对富余(分别富余 64%和 14%),而位置 3、位置 4 和位置 5 结构强度则相对薄弱(大概偏低 32%)。薄弱环节正是实际使用中往往出问题的部位,这与动臂结构件出问题的现象是吻合的,若还存有焊缝连接等制造缺陷,薄弱部位就会早期疲劳损坏。由上述可知装载机刚 - 弹耦合整体系统结构分析的合理性与实用性。

### 3.2 差异性分析

(1) 边界条件施加的差异 刚 - 弹耦合整体系统结构分析中,边界条件的施加更接近实际情况,动臂边界条件由同它相连接的其它零部件传递给它,它的 8 个受力点都是力载荷,这样就与实际作业过程中动臂边界条件相同,由此计算得到的结果显然更接近真实值。传统方式单独动臂结构分析均以其后铰点为刚性支撑点作为边界条件,与实际情况存有差异。

(2) 载荷施加的差异 刚 - 弹耦合整体系统结构分析中,只需要施加作业载荷,就可以模拟零部件之间的连接,使之能正确传力,得到更加精确的结果。传统方式单独动臂结构分析,则进行一定的简化和近似,计算得到动臂各铰点的受力情况,计算较保守。

(3) 整体研究的另一个优势就是可以比较直观地看到整体系统的薄弱部位,而单独研究只是得到动臂单个部件的应力分布情况。

## 4 结论

(1) 通过对装载机结构件系统在 ADAMS 环境中建立的整体刚 - 弹耦合的多刚体系统模型,将各部件考虑为弹性体,进行多体动力学分析,针对各种作业工况,精确求得结构件系统各铰点受力情况,从而使整体系统动力学仿真更接近真实工况。

(2) 基于刚 - 弹耦合多体系统模型,在 ANSYS 中对整体结构进行有限元分析,考虑各部件间的相互影响,合理处理相互间的约束关系,使有限元分析更符合实际情况,可直观发现整体结构中的薄弱部位。

(3) 在刚 - 弹耦合整体系统中进行动臂结构研究,薄弱环节就是实际使用中出问题的部位,这与动臂结构件出现问题的现象是吻合的,说明了装载机刚 - 弹耦合整体系统结构分析的合理性、实用性与精确性,是值得应用的现代设计分析技术。

(4) 以此为基础,研究各连接处焊缝残余应力对其强度的影响,对动臂结构进行疲劳寿命预估等,是今后要开展的研究工作。

### 参考文献

- [1] 王克军. 80 型轮式装载机结构部件性能分析[D]. 长春: 吉林大学, 2008.
- [2] 于硕, 闫涵. 装载机工作装置的机构分析[J]. 工程机械, 2001(8): 25-27.
- [3] 博弈创作室. ANSYS9.0 经典产品基础教程与实例详解[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006.
- [4] 吴雪梅, 赵伟民, 李瑰贤, 等. 销轴联接的几种有限元模型比较[J]. 机械工程师, 2004(1): 67-68.
- [5] 迟可伟, 孙键, 冯茂林. 地下铲运机整机结构强度分析及实验研究[J]. 金属矿山, 2006(3): 57-60.
- [6] 杨晋生. 铲土运输机械设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 1981.

通信地址: 吉林省长春市人民大街 5988 号 吉林大学南岭校区五公寓 631 寝室(130022)

(收稿日期 2009-03-08)



and high compacting efficiency.

**Keywords:** Vibration; Small size roller; Development

### **Electronic Energy-saving Control Technology for an Excavator and Its New Control Methods**

Defects in energy-saving principle of current electronic energy-saving control technology for excavators are analyzed and an electronic energy-saving principle of constant resisting torque control of engine is presented. In the principle, power loss due to inadequate power match is eliminated theoretically so that the engine can realize operation in constant resisting torque, constant speed and constant power, the output power is completely absorbed by hydraulic pump so real energy-saving control is realized.

**Keywords:** Excavator; Diesel engine; Energy-saving control

### **Comparison between Two Structural Analysis Methods for Boom Structure on ZL80 Wheel Loader**

Boom on a large size wheel loader is a key structural component. It is prone to fail due to violation in rigorous work conditions. Two methods are adopted to analyze it. One is to combine multi-body dynamics with finite element: first, a rigid-elastic coupling dynamic model is established in ADAMS for complete loader structural components system to conduct dynamic analysis for operation procedure; then, a 3D finite element model of the complete structural components system is set up in ANSYS to study the connection simulation between components and typical work conditions of a loader operation are analyzed with finite element to obtain performance characteristics of the boom structure. The other one is the traditional method: the boom component is analyzed separately and dangerous locations on the boom are located. The two methods are compared and the results show that, with rigid-elastic coupling mono-system structural analysis, loading forces on every jointing point can be accurately obtained and the dynamic simulation of the complete system is nearer to the reality. With the rigid-elastic coupling multi-body system model, interacting function between components are considered and weaker locations in complete structure can be discovered directly and the weaker points are the positions where the problems are in practical operation, which demonstrated the rationality and practical applicability of the rigid-elastic coupling

mono-system analysis for loaders.

**Keywords:** Wheel loader; Boom; Rigid-elastic coupling; Multi-body dynamics; Finite element analysis

### **Research in Crack Failure of Transmission Casings on Crawler Type Vehicles**

Aiming at crack failure of transmission casings on crawler type vehicles, finite element analysis method is adopted to study the casing strength. Under the precondition close to actual work condition, a simplified casing model is set up with CAD software, SolidWorks. Element type constructing the casing model is determined in finite element analysis software, ANSYS, to rationally mesh the finite elements and determine the loads and boundary conditions. The casing strength is analyzed and displacement nephogram and stress distribution nephogram of the casing are obtained. The results show that the direct reasons causing the casing crack are local stress concentration and inadequate material strength.

**Keywords:** Casing; Crack; Strength; Finite element

### **Design of a Special Control System for Slurry and Water Circulation of a Shield**

A special control system for slurry and water circulation of a shield is presented. The actuator in the system is AC motor. With each work condition parameters in shield construction, mathematic model is established and calculation formula for matched power of the controlled objective, slurry pump, is presented. For fluid load such as slurry pump, alternating transducer is adopted and added into control network as a slave station. S7-300 is used as main station controller and connected with each slurry pump slave station and each transducer slave station via Profibus-DP. In view of environmental features during shield operation, an industrial touch screen is selected as host computer. The system features high expandability and reliability and has been successfully operated in many projects.

**Keywords:** Alternating motor; Matched power; Profibus-DP

### **Research in Finite Element Analysis Technology for Tower Crane Structure**

Taking a flat-head tower crane as research objective, finite element analysis is conducted on its structure. Rod