

# 基于虚拟样机的自卸汽车 T 式举升机构优化设计

苑伍德<sup>1</sup>,罗坤<sup>1</sup>,杨成伦<sup>2</sup>,刘大维<sup>1</sup>

(1. 青岛大学 机电工程学院,山东 青岛 266071;

2. 中国重汽集团青岛重工有限公司,山东 青岛 266031)

**摘要:**采用虚拟样机技术,在 ADAMS 中建立某 T 式举升机构虚拟样机模型,对其进行仿真分析;采用 OPTDES 广义梯度算法,以举升机构液压油缸作用力最小为优化目标,对机构中主要铰接点位置进行优化计算。结果表明,液压油缸的最大驱动力在优化后减小了 23.5%,有利于提高机构的可靠性,延长使用寿命。

**关键词:**自卸汽车;举升机构;虚拟样机;优化设计;广义梯度算法

**中图分类号:**U469.4;U463.92 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5276(2021)03-0129-03

## Optimization Design of Charging Bow Device for Electric Bus Based on Virtual Prototype

YUAN Wude<sup>1</sup>, LUO Kun<sup>1</sup>, YANG Chenglun<sup>2</sup>, LIU Dawei<sup>1</sup>

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Qingdao University, Qingdao 266071;

2. China National Heavy Duty Truck Group Qingdao Heavy Industry Co., Ltd., Qingdao 266031, China)

**Abstract:** With virtual prototype technology, a virtual prototype model of a T-lifting mechanism was established in ADAMS and simulation analysis was conducted. By OPTDES generalized gradient algorithm and with the minimum force of the cylinder as the optimization goal, the position of the main hinge points in the mechanism was optimized. The results show that the maximum driving force of the hydraulic cylinder is reduced by 23.5% after optimization, which helps to improve the reliability of the lifting mechanism and prolong the service life of the lifting mechanism.

**Keywords:** dump truck; lifting mechanism; virtual prototype; optimized design; generalized gradient algorithm

## 0 引言

自卸汽车是通过发动机驱动液压机构从而驱动举升机构倾斜到一定角度实现自动卸货,并靠自重回位的工程车辆,广泛应用于各种复杂路况的运输工作。举升机构作为自卸汽车的核心机构,其设计的好坏,直接影响到自卸车的使用性能。因此举升机构的分析、优化对于自卸汽车的设计研发具有重要意义<sup>[1]</sup>。

T 式举升机构在自卸汽车中应用广泛,对于举升机构的设计,早期主要采用作图法进行分析。这种方法工作量大,在产品的设计优化过程中需要多次进行复杂的作图分析计算,而且精度较差。近年来,随着计算机技术的不断进步,一些学者和企业开始利用虚拟样机技术来开展产品的性能研究、优化设计等研究工作<sup>[2-10]</sup>。通过虚拟样机模型在设计阶段就能完成预测、评价产品的各项性能,不仅缩短了产品开发周期,而且能够大幅减少研发成本。基于此,本文利用多体动力学软件 ADAMS 对 T 式自卸汽车举升机构进行参数化设计,获得举升机构主要铰接点的最佳位置,为自卸汽车的优化设计提供了新途径,同时也为提高举升机构的工作性能提供了依据。

## 1 T 式举升机构的建模与仿真

### 1.1 T 式举升机构建模

本文将 T 式自卸汽车举升机构简化为图 1 所示的模型。该机构主要由液压油缸  $CD$ 、三角臂  $ABC$ 、拉杆臂  $BE$  等组成。以车厢与副车架的铰支点  $O$  点为原点建立坐标系,车厢与三角臂的  $A$  铰接点铰接,油缸一端与三角臂的  $C$  铰接点铰接,另一端与副车架在  $B$  铰接点铰接;拉杆一端与三角臂在  $B$  铰接点铰接,另一端与副车架在  $E$  铰接点铰接。 $ABCDE$ 、 $A'B'C'DE$  分别为举升机构举升前、后的位置。

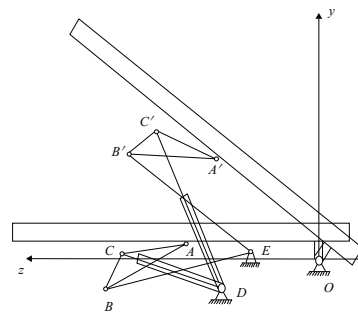


图 1 T 式举升机构模型简图

根据T式举升机构模型简图,在Pro/E软件中创建了举升机构的三维实体模型,将其导入到ADAMS/View环境中,并在ADAMS/View环境下对样机几何模型添加质量信息以及约束<sup>[11]</sup>。图2为在ADAMS/View环境中建立的自卸汽车T式举升机构虚拟样机模型。在模型中,副车架与车箱、三角臂与车箱、三角臂与拉杆、三角臂与油缸活塞杆、油缸与副车架、拉杆与副车架的相互约束关系均定义为平面转动副进行约束;活塞杆与油缸的相互约束关系定义为平面移动副进行约束。

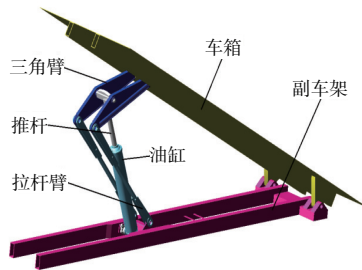


图2 T式举升机构虚拟样机模型

## 1.2 T式举升机构仿真分析

在进行T式举升机构仿真分析过程中,设定车箱满载质量为30t。由于液压油缸为单节,且推杆相对于油缸作匀速移动,因此在液压油缸与油缸推杆之间的移动副上施加一个速度驱动,设定运动时间为20s,仿真步数为2000步,对举升机构进行运动学仿真分析<sup>[11]</sup>。仿真得到的油缸驱动力和车箱举升角之间的关系曲线如图3所示。油缸驱动力最大值为738.22kN,与以往经验相比,该油缸驱动力最大值较大;油缸驱动力最大值出现在初始位置,与理想液压曲线不相符,容易对液压元件造成较大的冲击,会减少元件的使用寿命。

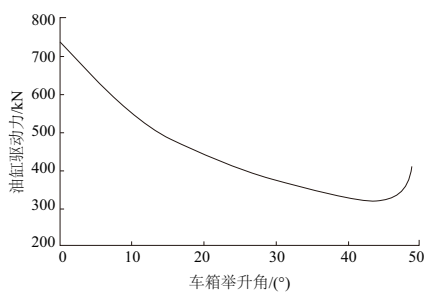


图3 油缸驱动力变化曲线

## 2 举升机构优化数学模型的建立

### 2.1 目标函数

举升机构中最重要的是液压油缸的动力源,故使得液压油缸驱动力最小而且能完成整个举升过程是想达到的理想结果。T式举升机构的优化目标为举升机构在有效的运动范围内液压油缸作用力最小。利用ADAMS/View软件将举升过程中的液压油缸驱动力最大值最小化作为T式自卸汽车举升机构的优化目标函数,即:

$$\min F(X) \quad (1)$$

式中: $F(X)$ 为目标函数; $X$ 为设计变量, $X=(DV_1, DV_2, \dots, DV_n)$ , $n$ 为设计变量的个数。

### 2.2 设计变量

通过优化举升机构各铰接点的位置可以有效改善油缸的驱动力大小。因此,将举升机构中各铰接点的位置坐标作为设计变量,通过对各铰接点的位置坐标进行参数化设计,建立T式举升机构的参数化模型,以便于比较不同参数对举升机构在举升过程中产生的油缸驱动力大小的影响。

根据优化的目标和举升机构的设计要求,确定参数化的设计变量为以下几个关键点:三角臂与车箱连接铰链点A、三角臂与拉杆臂连接铰链点B、三角臂与活塞杆连接铰链点C、油缸与副车架连接铰链点D和拉杆臂与副车架连接铰链点E的 $y, z$ 坐标(见图1),共10个设计变量。

### 2.3 约束条件

根据举升机构的工作情况,在保证驱动速度与仿真时间不变的前提下,利用ADAMS/View的软件环境,从举升机构的最大举升角与边界条件对优化模型进行约束,以期在满足约束条件的前提下,获得最佳优化目标<sup>[12]</sup>。

1) 为了保证T式举升机构能将货物卸载干净,举升角度应该大于货物的安息角。以自卸车举升角(车箱相对于副车架的转角)等于 $48^\circ$ 为约束条件,对 $A_{\text{ANGLE}}$ 建立约束函数 $G_2(X)$ 为

$$G_2(X) = 48^\circ - A_{\text{ANGLE}} \leq 0 \quad (2)$$

2) 根据T式举升机构尺寸和布置要求,优化设计过程中各设计变量允许变化范围如表1所示。

表1 举升机构各设计变量变化范围

设计变量	坐标值/mm	变化范围/%
$DV_1 (A_y)$	277	$\pm 10$
$DV_1 (A_z)$	5 440	$\pm 5$
$DV_3 (B_y)$	-86	$\pm 10$
$DV_4 (B_z)$	7 142	$\pm 5$
$DV_5 (C_y)$	243	$\pm 10$
$DV_6 (C_z)$	6 577	$\pm 5$
$DV_7 (D_y)$	-116	$\pm 10$
$DV_8 (D_z)$	4 642	$\pm 5$
$DV_9 (E_y)$	150	$\pm 10$
$DV_{10} (E_z)$	4 400	$\pm 5$

## 3 优化计算与结果分析

ADAMS/View提供OPTDES-GRG(广义简约梯度算法)和OPTDES-SQP(二次规划算法)两种优化算法,由于OPTDES-GRG算法的通用性、有效性和可靠性等在各类非线性规划中都是较突出的,所以本文采用OPTDES-GRG算法<sup>[13]</sup>。此算法可以在某方向微小位移下保持约束的有效性,其特点是寻优时沿边界进行搜索,而结构优化的解往往位于边界上。

### 3.1 T式举升机构的第一次优化设计

采用 Design Study 参数化分析方法对自卸汽车 T 式举升机构进行一次优化设计。在保持其余设计变量恒定的基础上,分别对 DV\_1-DV\_10 共 10 个设计变量依次进行参数化分析,完成举升机构的迭代优化仿真分析,从而获取 DV\_1-DV\_10 共 10 个设计变量在初始值位置对于液压油缸驱动力的敏感度。敏感度定义为油缸驱动力相对于设计变量的变化率。

通过对自卸汽车 T 式举升机构的第一次优化设计,在 ADAMS/View 软件中得到 DV\_1-DV\_10 共 10 个设计变量在初始值位置对于液压油缸驱动力的敏感度大小,第一次优化数据结果如表 2 所示。

表 2 第一次优化数据结果

设计变量	初始值/mm	敏感度/(N·mm <sup>-1</sup> )	优化值/mm
DV_1	277	93.416	277
DV_2	5 440	301.260	5 420
DV_3	-86	324.930	-100
DV_4	7 142	25.325	7 160
DV_5	243	-615.720	266
DV_6	6 577	169.300	6 540
DV_7	-116	1 818.000	-128
DV_8	4 642	-358.670	4 742
DV_9	150	-2 103.400	165
DV_10	4 400	-188.260	4 420

由表 2 可知,通过第一次优化设计得到的 DV\_3、DV\_5、DV\_7、DV\_8 和 DV\_9 共 5 个设计变量在初始值位置对于液压油缸驱动力的敏感度较大,故将这 5 个设计变量作为新的优化设计变量进行 T 式举升机构的第二次优化设计。

### 3.2 T式举升机构的第二次优化

采用 Optimization 参数化分析方法对自卸汽车 T 式举升机构进行第二次优化设计。根据优化设计变量的允许变化范围,通过 ADAMS/View 软件中提供的 OPTDES-SQP 优化算法,在满足约束条件的前提下,获得液压油缸驱动力最大值最小时的参数组合。

通过对举升机构的第二次优化设计,得到 DV\_3、DV\_5、DV\_7、DV\_8 和 DV\_9 共 5 个设计变量的优化值(见表 3)。

表 3 第二次优化数据结果 单位:mm

变量	DV_3	DV_5	DV_7	DV_8	DV_9
优化前	-100	266	-128	4 742	165
优化后	-95	260	-140	4 670	240

### 3.3 T式举升机构优化前、后结果对比

通过 ADAMS/View 软件的优化设计模块完成对自卸汽车 T 式举升机构的优化设计,优化设计得到的结果值确定了优化后 T 式举升机构各铰接点位置坐标,优化前、后举升机构中油缸驱动力的输出曲线如图 4 所示。

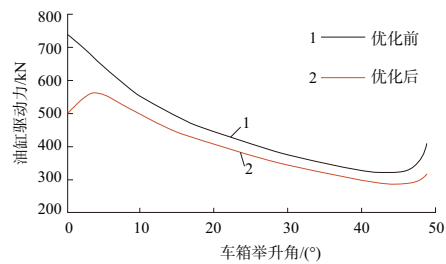


图 4 优化前、后油缸驱动力输出曲线

由图 4 可知:车箱举升过程中,在相同的驱动速度与仿真时间条件下,液压油缸驱动力最大值由优化前的 738.22 kN 降低到 564.53 kN,降低了 23.5%,优化效果明显。优化前油缸驱动力最大值出现在初始位置,优化后油缸驱动力呈现先增大后减小的趋势,油缸驱动力最大值出现在举升角为 3.6° 时,避免了初始油压值过大的状况,有利于延长液压系统的使用寿命。

## 4 结语

本文利用多体动力学软件 ADAMS 对 T 式自卸汽车举升机构建立虚拟仿真模型,采用 ADAMS 软件自带的 OPTDES-GRG 算法,以举升机构液压缸作用力最小为优化目标,对机构中各铰接点位置进行了优化,优化后举升机构在举升过程中所需的液压油缸最大驱动力比优化前降低了 23.5%。有利于提高机构的可靠性,延长举升机构的使用寿命;研究结果为举升机构结构的进一步改进提供参考依据。

#### 参考文献:

- [1] 葛绪坤,樊维,刘大维. 自卸汽车举升机构应力实验与分析[J]. 青岛大学学报(工程技术版),2014,29(1):56-59.
- [2] 王中长,葛绪坤,夏焜,等. 虚拟样机的自卸汽车侧开式密封装置优化设计[J]. 现代制造工程,2012(1):52-55,83.
- [3] 张忠清. 基于虚拟样机的自卸车参数化研究与优化设计[D]. 南京:南京农业大学,2011.
- [4] 张毅,马力,李鹏飞. 基于 ADAMS 的自卸车举升机构优化设计[J]. 专用汽车,2005(3):21-23.
- [5] 栗灿. 基于虚拟样机的自卸车举升机构优化设计研究[D]. 重庆:重庆交通大学,2014.
- [6] 王乐宝. 基于虚拟样机和有限元的侧装式垃圾车提升机构优化设计[D]. 青岛:青岛大学,2015.
- [7] 唐焱,李发琴,肖蓬勃,等. 基于试验设计的自卸车举升机构优化设计[J]. 煤矿机械,2016,37(3):62-64.
- [8] 毛胜辉. 基于最优化理论自卸车液压举升机构优化设计分析[J]. 机床与液压,2017,45(10):113-118.
- [9] 唐云娟,张斐朗. 矿用自卸车举升机构的优化设计[J]. 装备制造技术,2019(2):123-127.
- [10] 赵强,孟祥瑞,于世友,等. 基于虚拟样机的电动公交车充电弓装置优化设计[J]. 现代制造工程,2020(3):54-59.
- [11] 王中长. 厨余垃圾车提升机构优化设计研究[D]. 青岛:青岛大学,2012.
- [12] 刘大维,刁兵,陈焕明,等. 虚拟样机的拉臂车工作装置优化设计[J]. 现代制造工程,2009(8):135-138,129.
- [13] 李旋. 矿用装载机的仿真优化及有限元分析[D]. 西安:长安大学,2013.

收稿日期:2020-09-09