

Structural Design and Optimization of Lifting Mechanism for Elevating Platform Vehicle

Rudong Guo Mengmeng Wang Meng Zhang Fengchen Han

High-Tech Equipment Branch, XCMG Construction Machinery Co., Ltd., Xuzhou, Jiangsu, 221000, China

Abstract

To meet the operating requirements of an airport elevating platform vehicle lifting a 4500 kg load within a lifting range of 480–2200 mm, an optimal design of the lifting mechanism was carried out. By adopting the cooperative operation of an auxiliary lifting cylinder and a main lifting cylinder, the required thrust of the cylinders was effectively reduced. The virtual displacement method was used to calculate the thrust of a single cylinder as 294 kN at a height of 780 mm, and the accuracy of the result was verified by Pro/E simulation. Aiming at the insufficient stiffness of the original scissor arm structure, an optimization scheme combining triangular stiffeners with rectangular tubes was proposed. The simulation results show that under a load of 68600 N, the maximum stress of the optimized structure is 268 MPa, and the maximum deformation is reduced from 16 mm to 4 mm, which meets the strength and stiffness requirements.

Keywords

elevating platform vehicle; scissor arm; lifting mechanism; structural optimization; strength analysis

升降平台车举升机构的结构设计及优化

郭汝东 王蒙蒙 张蒙 韩丰臣

徐工集团工程机械股份有限公司高技术装备分公司, 中国·江苏 徐州 221000

摘要

针对机场升降平台车在480–2200 mm升降范围内举升4500 kg载荷的作业需求, 对举升机构进行了优化设计。通过采用辅助举升油缸与主举升油缸协同工作的方式, 有效降低了油缸推力需求。利用虚位移法计算出780 mm高度处单个油缸推力为294 kN, 并通过Pro/E仿真验证了结果的准确性。针对原剪叉臂结构刚度不足的问题, 提出了采用三角形加强筋与矩形管组合的优化方案。仿真结果表明: 优化后的结构在68600 N载荷下最大应力为268 MPa, 最大变形量由16 mm降至4 mm, 满足强度与刚度要求。

关键词

升降平台车; 剪叉臂; 举升机构; 结构优化; 强度分析

1 引言

机场升降平台车作为空港地面保障装备的核心设备之一, 主要用于实现运输机货舱与机场通用运输车或转运拖车之间的装卸衔接。其功能是在运输车厢板与运输机货舱之间构建可移动的升降平台, 完成各类航空集装箱及集装托盘等物资的空—公转运作业。

该平台车的升降范围为480–2200mm, 额定举升质量为4500kg。在举升过程中, 货物需在平台上进行前后传输, 因此对整机质量与外形尺寸有严格要求。传统举升机构在强度与刚度方面难以满足上述需求, 故有必要对举升机构进行结构优化设计。

2 举升机构结构及工作原理

举升机构主要由剪叉臂、举升油缸与辅助举升油缸三部分构成, 如图1所示。剪叉臂作为一种成熟的机械增压机构, 具有运动轨迹明确、稳定性高、承载能力强等优点。

剪叉臂由固定臂与滑动臂组成。滑动臂一端通过销轴与车架连接, 另一端与平台形成滑动副; 固定臂一端与车架滑动连接, 另一端则与平台固定连接。两臂之间通过销轴实现铰接。

在举升作业过程中, 平台初始处于最低位置。此阶段主要由辅助举升油缸提供举升动力。当辅助油缸完全伸出后, 平台继续由主举升油缸推动, 直至达到目标高度。

3 举升能力

当平台处于最低位置时(如图2所示), 剪叉臂与地面的夹角较小, 此时所需油缸推力较大, 对结构件的强度要

【作者简介】郭汝东(1987–), 男, 中国江苏徐州人, 本科, 工程师, 从事工程机械研究。

求较高。为此，设计中引入辅助举升油缸，将平台先提升至一定高度。受限于空间结构，辅助油缸伸至最高时，平台高度为 780mm，选取该位置进行油缸推力计算。

建立以固定支点 A 为坐标原点的直角坐标系，其中 EF 表示举升液压缸，CD 表示主平台，AC 与 BD 为剪叉臂。两臂在 O 点通过销轴连接，A 点为固定支点，B 点可沿 X 轴移动。在 780mm 高度处，采用虚位移法进行推力计算。

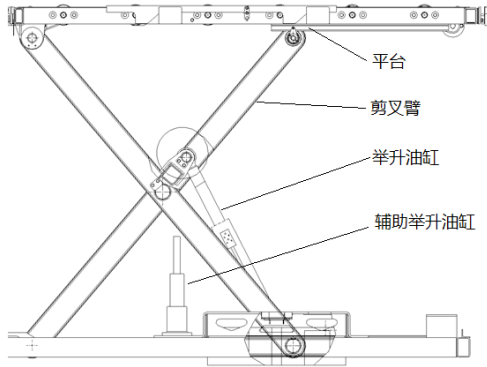


图 1 举升机构结构示意图

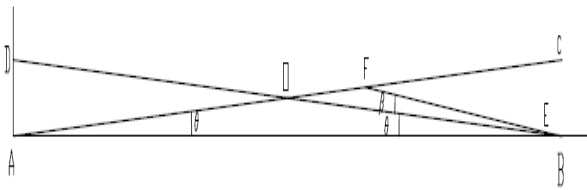


图 2 剪叉臂油缸推力计算示意图

已知平台与货物总质量为 6500kg (合 63700KN)，均布载荷 $q = 23.4839 \text{ N/m}$ 。通过静力平衡方程及虚功原理，建立如下方程组：

$$\sum F_x = 0 \quad F_{Bx} - F_{Cx} = 0$$

$$\sum F_y = 0 \quad F_{By} + F_{Cy} - ql = 0$$

$$\sum F_B = 0 \quad F_{Cy} \times l_{BC} - 0.5ql^2 = 0$$

$$F_{Cx} + F_{Ox} - F_{Ax} - F_{液x} = 0$$

$$F_{Ay} + F_{液y} - F_{Oy} - F_{Cy} = 0$$

$$F_{液} L_{液} - F_{Cy} L_{AD} - F_{Oy} L_{AO} \cos \theta - F_{Cx} L_{AB} - F_{Ox} L_{AO} \sin \theta = 0$$

$$F_{液y} = F_{液} \cos \alpha$$

$$F_{液x} = F_{液} \sin \alpha$$

得出单个油缸推力为： $F_{推} = \frac{588}{2} = 294 \text{ KN}$

为验证上述结果，利用 Pro/E 软件构建举升机构三维

模型，模拟平台从 780mm 举升至 2200mm 全过程中油缸的受力情况 (图 3)。仿真结果显示，油缸最大推力约为 275 kN，与虚位移法所得结果基本一致，验证了理论计算的正确性。

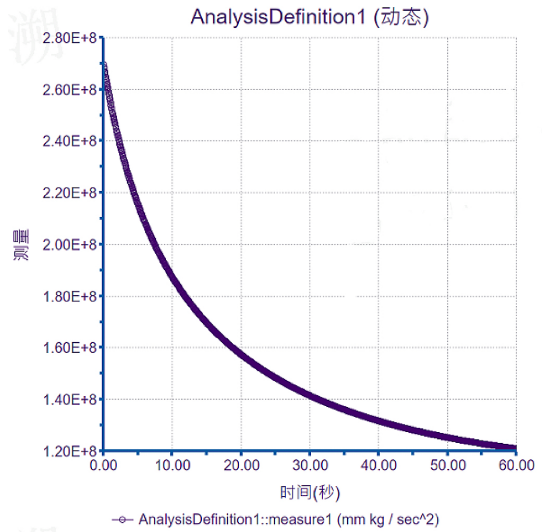


图 3 Proe 模拟油缸推力全过程图

4 结构强度仿真校核

通过结构强度仿真，评估剪叉臂及其焊接结构是否满足使用要求。

4.1 优化前结构强度分析

优化前的剪叉臂结构如图 4 所示，采用矩形钢管焊接而成。尽管该结构在一般工况下具备足够的强度与刚度，但在承受较大载荷时需重新校核。

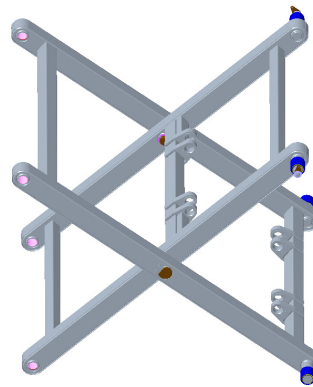
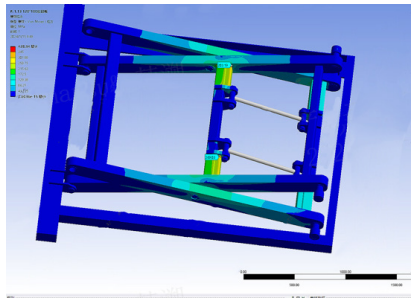
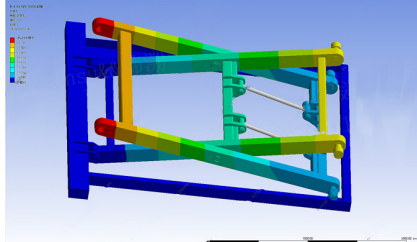


图 4 优化前的剪叉臂结构

在 780mm 高度处，对平台施加 68600KN 垂直载荷，仿真结果显示：最大应力为 269MPa，低于材料许用应力 345MPa；最大变形量为 16mm (图 5)。虽然强度满足安全要求 (安全系数大于 2)，但刚度已超出允许范围，无法满足实际使用需求。



应力云图



变形云图

图 5 2200mm 高度加载 68600KN

4.2 优化后的结构强度仿真分析

优化后的剪叉臂结构如图 6 所示，采用三角形加强筋与矩形管组合设计。在关键受力部位（如关节连接处与中间段）焊接三角形加强筋，并在油缸连接处增大横梁截面积。

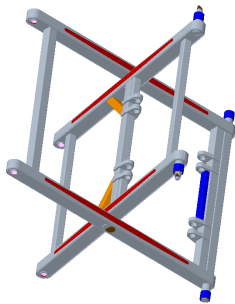


图 6 优化后的剪叉臂结构

在 780mm 高度施加相同载荷进行仿真，结果显示：最大应力为 268MPa（图 7），仍低于许用应力；最大变形量降至 4mm（图 8、图 9）。优化后的结构在强度与刚度方面均满足使用要求，安全系数大于 2，变形量也在允许范围内。

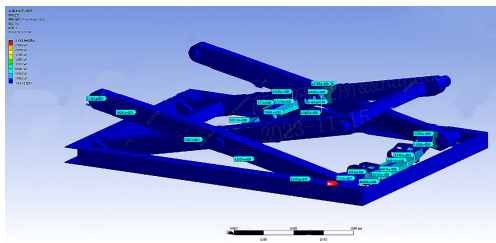


图 7 应力云图

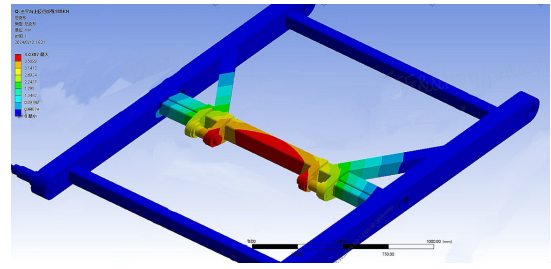


图 8 中间横梁变形云图

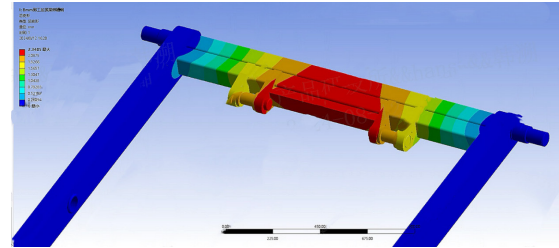


图 9 底部横梁变形云图

5 结语

通过引入辅助举升油缸，显著降低了主举升油缸的推力需求。经过结构优化设计的举升机构，能够满足升降范围 480—2200mm、举升质量 4500kg 的强度与刚度要求，具备良好的工程适用性。

参考文献

- [1] 郑玉巧, 张堆学, 毛建军. 剪叉式升降台液压缸位置参数优化设计[J]. 机床与液压, 2010, 38(20): 39-41.
- [2] 孙光旭, 袁端才. 液压剪叉式升降台的动力学仿真[J]. 系统仿真学报, 2010, 22(11): 2650-2653.
- [3] 郭彦青, 高宏伟, 付永领, 等. 基于ADAMS和AMESim的剪叉式升降平台的设计与仿真[J]. 机械设计与制造工程, 2019, 48(3): 29-34.
- [4] 赵海霞, 赵晓, 谭鹏, 等. 基于响应面法的剪叉式升降台结构优化[J]. 机械设计与制造工程, 2017, 46(5): 23-26.
- [5] 曹菲, 赵友俊, 石军键. 剪叉式升降平台设计与有限元分析[J]. 包装工程, 2019, 40(21): 193-198.
- [6] 张威, 张雪飞, 刘兵飞, 等. 剪刀架举升机构统一输入力计算与仿真比较研究[J]. 机床与液压, 2015, 43(15): 91-93.
- [7] 胡福生, 刘文玺, 李秀刚, 等. 升降平台剪叉机构模拟优化[J]. 农业工程, 2017, 7(5): 45-49.
- [8] 伍佳荣, 郭克希, 潘存云, 等. 剪叉式机动平台承载能力有限元分析与优化设计[J]. 东华大学学报(自然科学版), 2013, 39(4): 427-431.