

重载 AGV 结构设计在工程机械产线中的应用

危司

(湖南艾博特机器人系统有限公司 湖南 长沙 410000)

摘要:如今,在机械生产产业中,更加注重生产自动化,许多智能制造技术在机械生产中有了新的应用。基于此,本文着重研究了一种能够承载至少 30t、大多被应用在工程机械生产线上的重载 AGV 结构。为了更好地达到防止 AGV 结构倾翻的目的,还针对底盘结构、结构动态特性等进行了研究。经过优化后的 AGV 结构车体在转弯的时候,最大应力值为 72MPa,最大变形值为 0.6mm,最小振动频率为 26.9Hz。经过多次实验,AGV 结构稳定系数能够达到 0.41,不存在静态或动态的倾翻风险,提升了 AGV 结构在机械工程生产的应用价值,还可以将其应用在大型挖掘机的装备线上。

关键词:重载 AGV;静力学分析;模态分析;倾翻

0 引言

越来越多的工程制造产业开始使用 AGV 技术,通常来说,不同的应用场景所需要使用的 AGV 也有所区别。一般在机械制造的过程中,都会采用 0.5 ~ 2t 的 AGV,其中叉车式和牵引式的 AGV 还能够应用在物流搬运的工作当中。自动化的牵引式 AGV 属于无人搬运车的一种。值得一提的是,如果只采用轻载 AGV 则难以满足某些特定生产线的需求,因此必须采用承重更高的 AGV。除此之外,在其他领域也常常会使用重载 AGV,比如挖掘机装配的过程中,整体车辆部件需要通过板链式流水线进行组装,通常就需要采用重载 AGV 来为整条装配线路提供自动化服务,跨平台、跨区域运输,从而完成安装工作。

1 需求分析

1.1 承载

由于大型车辆的组装工作通常需要采用 AGV 来实现,为了满足实际的生产需求,必须增加 AGV 的额定载荷,例如实际需求大概是 25t,就要将 AGV 的额定载荷设置为 30t,以满足承载需求。

1.2 导航方式

AGV 属于可以无人操作的自动化装置,在实际的生产过程中还可以配合导航系统共同使用,根据不同的应用场景选择不同的导航形式。一般可采取激光复合二维码导航的形式;在执行长距离运输任务时可以采用准确性较强、专业度较高的激光导航,结合二维码共同使用,能够有效提高生产效率^[1]。

2 车体结构设计

如图 1 所示,AGV 的车体结构设计清晰明了,采用 2 组差速驱动轮,每组差速驱动轮含有 2 个驱动轮。除此之外,共有 4 组无动力辅助轮,加上主车体即可以组成最基础的车体结构。

装配车架的过程会涉及很多零配件的安装环节,例如上车架装配过程中所用到的油管等零件装配,为更精准地安装好各零件,需要提前在车体结构中预留一定的安装位置。除此之外,万向轮等零件也需要提前安装好钢板。

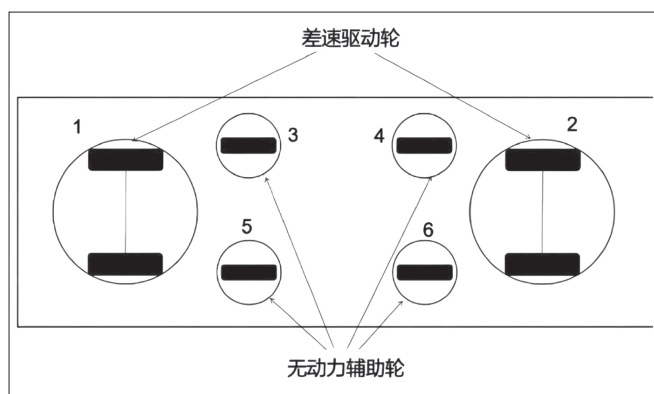


图 1 重载 AGV 底盘结构

2.1 有限元分析

想要有效地提升 AGV 的工作效果,就需要对其进行受力和变形分析。通常都是采用有限元分析的方法对 AGV 进行相关的静力学分析,确保 AGV 车架在不同的振动频率下能达到理想的效果。

2.1.1 模型建立

如图 2 所示为构建车架模型。为了得到更好的承

载效果,通常会选用 Q235 作为型材和承载钢板材质,其密度为 7850kg/m^3 、屈服强度为 235MPa 、弹性模量为 210GPa ,具备较为良好的特性,能够满足实际的需求。

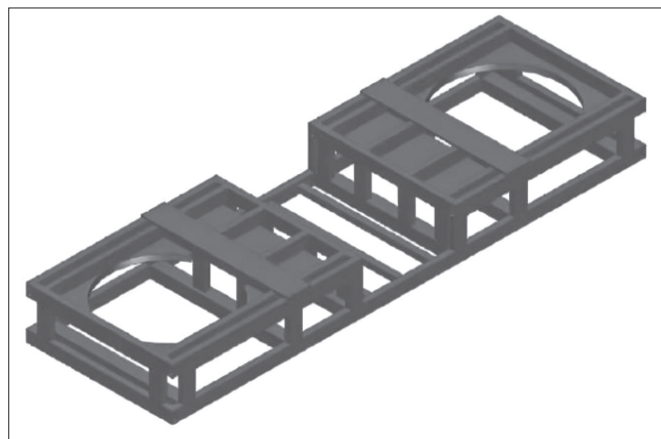


图 2 AGV 车架模型

2.1.2 网格划分

采用四面体标准网格进行划分,单元大小 23mm ,总网格数 179623 个,节点总数 345165 个。

2.1.3 静力学分析

2.1.3.1 边界条件

大多数的重载 AGV 在执行任务的时候,其动作只包括向前、后退、转弯、停止等;遇到地面不平整的情况时,其辅助轮会出现一定的悬空^[2]。故研究以 6 种工况为例,分别是前进急停、转弯、匀速行驶辅助轮悬空、平移急停、匀速行驶、前进急停加辅助轮悬空。 X 是 AGV 的长度方向, Y 为 AGV 宽度方向, Z 为竖直方向,可依次进行添加边界条件的测试,求出相应的解。

2.1.3.2 载荷施加

对于 AGV 车体来说,承载力是非常重要的性能指标,在对其施加载荷的过程中也能考验其性能优劣。AGV 车体需要承载的质量主要有自身的车重、额外的载重以及惯性力。AGV 车体的自重是 1.3t ,能够承载的重量为 30t ,故 AGV 的承载能力 $G=mg=30 \times 1000 \times 10=300000\text{N}$ 。当然,这里所指的自重忽略了质量较小的车内控制器、电池等部件的重量。

2.1.3.3 结果分析

对 AGV 进行静力学分析,所得应力和位移等静力学结果如图 3 所示。在前

进急停工况和平移急停工况下,应力和位移的结果相似。除此之外,结合六种工况的实际数据,可以看出最大应力为 72MPa ,最大位移为 0.6mm 。

为切实保障安全性,基于 1.4 倍的安全系数考虑,经过相应的测算可知,车体的许用应力为 167MPa ,允许最大位移 4mm 。在这六种不同的工作状况下,其静力学结果都能够满足实际需求。结果显示,转弯与前进急停加辅助轮悬空这两种工况下,最大应力集中在底板的下部,最大位移发生在车身的后侧和侧面^[3]。

2.1.4 频率分析

AGV 的运行速度通常在 $20 \sim 30\text{m/min}$ 之间,为了防止外界因素引起的共振,在设计 AGV 的时候,应当消除相近频率状态下的模态,达到更加专业的效果。重载 AGV 车架是一个多自由度的弹性振动系统,其本身具有多阶固有频率和多阶振型。为了缩短研究时间,本文只选取典型的 12 种不同阶数自由模态,并对各阶模态进行标记。这 12 种不同的阶数下,车架的振动频率如图 4 所示。详细分析发现,1~6 阶的频率为 0,此种状态主要属于刚体模态;而 7~12 阶频率发生了变化,为弹性模态。其中,7 阶为弯曲变形模态,要进行优化。

2.1.5 模型优化和分析

针对 7 阶模态下频率过低的问题,在 AGV 车体中间位置增加了 2 根抗弯梁来优化。抗弯梁能够有效解决模态频率过低的问题,其尺寸为 $50\text{mm} \times 50\text{mm} \times 5\text{mm}$,优化模型如图 5 所示。

结果表明,在转弯工况下,最大应力和变形情况都已经满足标准要求。如图 6 所示,7~12 阶的弹

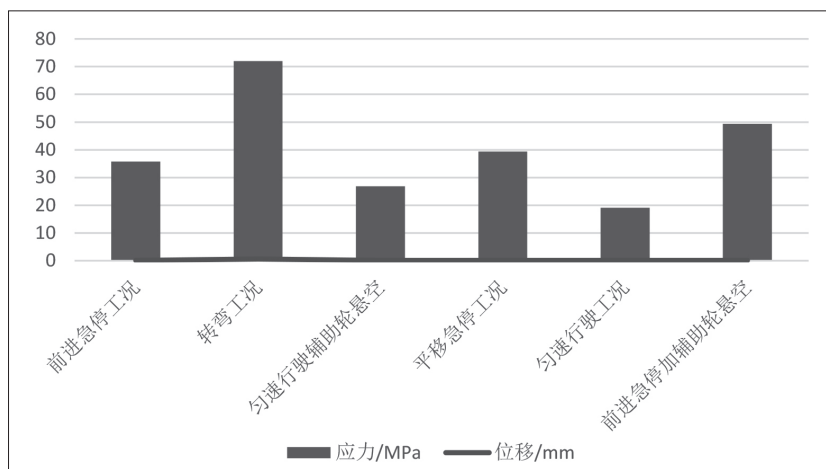


图 3 主要工况下的静力学结果

性模态频率超过 20Hz, 满足要求。

2.2 倾翻载荷

为了降低倾翻风险, 车体的实际尺寸要根据装配过程中对于工艺的实际需求来设计。通常来说, 车体尺寸应该要小于搬运零件的具体尺寸, 从而可以留出一定的供给人工作业的区间^[4]。例如下车架零件的宽度为 3.6m, 车体宽度尺寸为 1.3m, 实际的车体宽度要比下车架零件的宽度小得多。值得注意的是, 在不同的工况下都存在倾翻的风险, 因此要严格测算倾翻载荷。

2.2.1 静态倾翻

在静止状态下, AGV 存在倾翻临界点。该临界点是 AGV 的车体沿着斜坡产生的分力形成的翻转力矩, 等于 AGV 重力垂直于斜坡分力所产生的稳定力矩。AGV 与载荷的重心高度为 1200mm, 辅助轮的最大轮距为 980mm, 倾斜角最大为 3°。按照公式 (1) 计算, 两者比值为 0.13。AGV 小车满足倾斜平台稳定性条件的理论值为 0.04, 计算值大于理论值, 说明无静态倾翻风险。

$$A = \frac{(M+m)g \sin \beta \cdot H}{(M+m)g \cos \beta \cdot \frac{W}{2}} \quad (1)$$

式中: M — AGV 车体中的零件的质量;

m — 车体质量;

β — 倾斜角;

H — AGV 与载荷的重心高度;

W — 辅助轮的最大轮距。

2.2.2 动态倾翻

不同的工况下, 动态倾翻的可能性不同。例如在转弯的工况下, 会受到多个方向的力的影响。首先其会受到一定的侧向离心力, 记作 $F_{\text{向}}$, 受到侧向离心力后, 容易使 AGV 产生翻转力矩, 此翻转力矩记为 $M_{\text{向}}$, 计算公式如下:

$$F_{\text{向}} = \frac{(M+m) \times v^2}{R} \quad (2)$$

$$M_{\text{向}} = F_{\text{向}} \times H \quad (3)$$

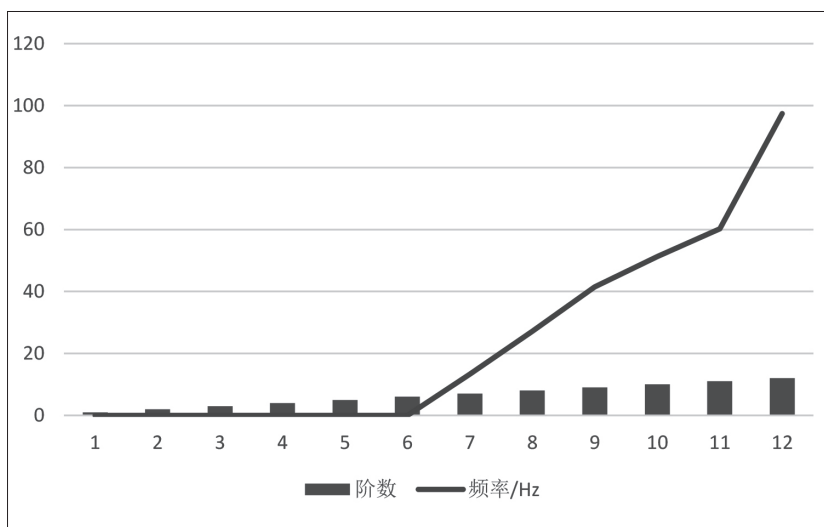


图4 各阶模态振动频率

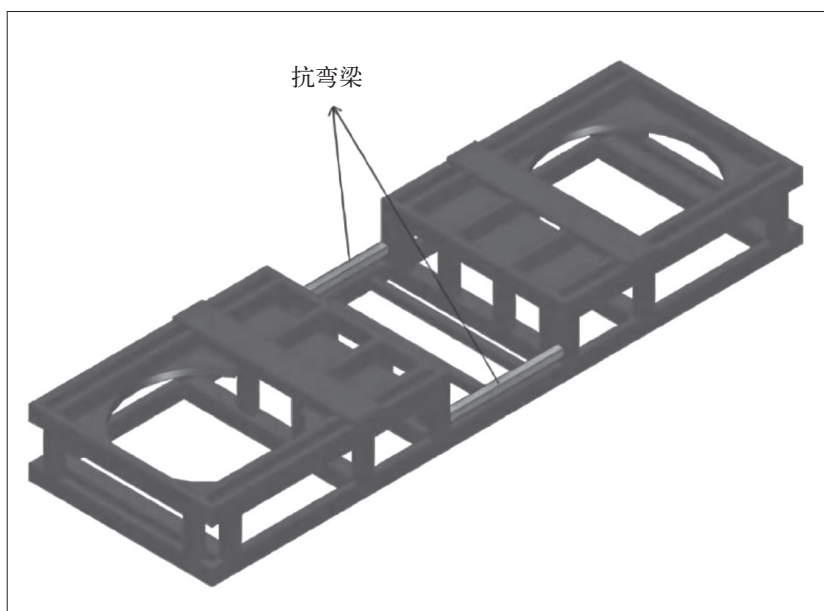


图5 优化后的车架模型

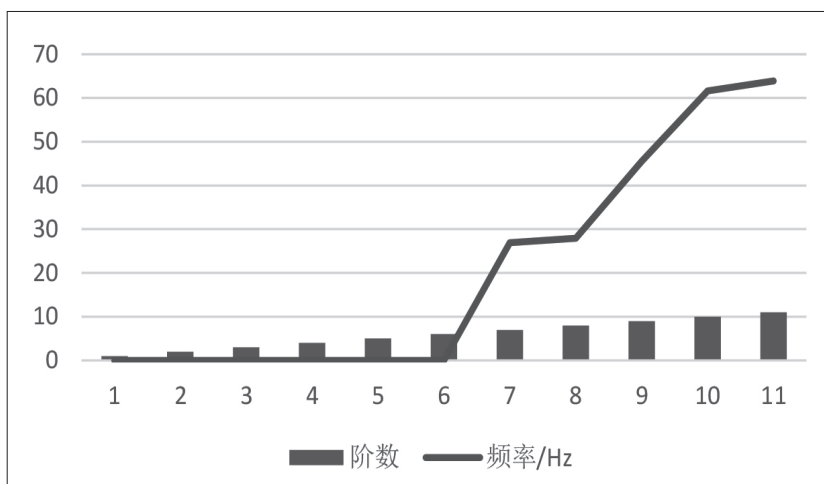


图6 优化后的模态振动频率

$$M_{\text{稳}} = (M + m)g \times \frac{W}{2} \quad (4)$$

AGV 产生的稳定力矩 $M_{\text{稳}}$ 计算公式如下:

在倾翻临界点上, 翻转力矩等于 AGV 所产生的稳定力矩, 即 $M_{\text{向}} = M_{\text{稳}}$ 。进一步结合公式 (3) 和公式 (4) 可得, 在本次分析中, $M_{\text{稳}} > M_{\text{向}}$, 所以车体不会发生动态倾翻。

2.2.3 横向稳定性

通常来说, 在发生倾翻的临界点以上, AGV 车体更不容易产生侧滑; 当其处于临界倾翻点以下时, AGV 容易发生侧滑, 横向稳定性会因此受到干扰。经过详细的测算可知, 临界侧滑点的计算公式如下:

$$\frac{(M + m) \times v^2}{R} = (M + m)g \times \phi \quad (5)$$

式中: ϕ — AGV 的轮子与地面的附着系数。

将附着系数 ϕ 的计算引入公式 (5), 得到新的计算公式, 如下:

$$\frac{(M + m) \times v^2}{R} \times H = (M + m)g \times \frac{W}{2} \quad (6)$$

综合公式 (5) 和公式 (6), 详细分析 AGV 发生侧向滑动但是却不会翻车的情况, 得到公式 (7), 如下:

$$\frac{W}{2H} > \phi \quad (7)$$

式中: $\frac{W}{2H}$ — 横向稳定系数。

通常来说, 横向稳定系数的数值越高, AGV 一般越不容易发生侧翻。其是否发生侧翻, 也与重心高度和轮距有关。

由于地面环境往往不是十分平整的, 可能会包括摩擦力较大的平面或者钢板平面, 而大多数的 AGV 的轮子材质较为特别, 一般为聚氨酯, 所以需要调整相应的参数, 以使得稳定系数达到更标准的范围^[5]。基于不同的工况、工艺要求以及不同零件的重心位置, 可适当调整 AGV 的轮子, 但辅助轮宽度和零件重心不能发生改变。

3 结语

(1) 根据实际生产线的需求进行设计分析, 本文

设计了 30 吨级的重载 AGV, 其主要部件有差速驱动轮、无动力辅助轮和车体。

(2) 通过有限元仿真分析, 结合不同的工况, 研究了 AGV 车架所发生的模态变化。结合所得到的结果, 可以分析不同的频段等条件下 AGV 所受到的影响; 分析其最大应力值、最大变形值等, 可以使得车辆在转弯的过程中得到进一步的优化。

(3) 从力学角度分析, 本文为防止车体发生侧翻风险, 对倾翻载荷进行研究; 根据多项实验结果综合比对, 大多数载荷达到 20t 以上的 AGV 无静态或动态倾翻风险。从稳定性角度分析, 重载 AGV 的横向稳定系数约为 0.41, 不仅能够满足实际的设计需求, 还能达到更好的效果。

(4) 根据以上的数据进行深入研究后, 设计并成功制造了 13 台重载 AGV, 载荷为 30t, 将其应用于大型机械设备的生产线中。在实际的移动过程中, AGV 也可以切换移动模式, 采取同步或单独的形式; 在生产控制的过程中, 还可充分利用调度系统和执行系统来对生产线进行控制。通常来说, 可以将收集到的生产线数据存储在特定的位置, 或者通过电子屏的形式展现给工作人员, 直至 AGV 运行到最后一步。从整体角度来看, AGV 具备很高的应用价值。

参考文献:

- [1] 王永红. 重载 AGV 的应用现状及发展前景浅析 [J]. 现代工业经济和信息化, 2021, 11 (09): 145-146.
- [2] 李楠楠. 重载 AGV 轻量化设计研究 [D]. 郑州: 郑州大学, 2019.
- [3] 马越, 王永恩, 马睿. 重载 AGV 机械结构设计 [J]. 机械研究与应用, 2018, 31 (02): 112-113.
- [4] 金鹏. 重载 AGV 结构优化设计与模糊滑模控制 [D]. 南京: 南京航空航天大学, 2018.
- [5] 杨建强, 焦学健, 杨磊, 等. 新型室外重载 AGV 机械结构设计与分析 [J]. 农业装备与车辆工程, 2021, 59 (09): 54-58+93.

作者简介: 危司 (1991.02-), 女, 汉族, 湖南湘潭人, 本科, 工程师, 研究方向: 机械设计。