doi：10.16576/j.ISSN.1007-4414.2026.02.021

卷料搬运无人自动引导车 AGV 设计

刘英南

（九与九（上海）科技有限公司，上海　201300）

摘　要：卷料搬运场景目前广泛存在于服装、造纸、纺织、医疗、新能源等行业，传统方式卷料搬运过程中主要依靠人工操作简易设备进行，其作业方式存在人工操作困难、作业强度大、作业效率低下等问题。该文针对卷料搬运过程中的技术难点，提出了一种用于卷料搬用的 AGV（无人自动引导车）设计方案，确认了该方案的特定场景及设计需求，并对重载卷料的 AGV 结构及动力学特性进行了分析。该类型 AGV 可以实现自动化装载和搬运卷料到存储仓库或生产设备，设计方案能够提高卷料的搬运效率，降低人工劳动强度，节省人工成本。

关键词：自动引导车；料卷；卷材搬运；搬运机器人

中图分类号：TP242.2；TH242　　文献标识码：A　　文章编号：1007−4414(2026)02−0079−04

The Design of Automated Guided Vehicle for Coiled Material Transportation

LIU Ying-nan

（*Nine & Nine（shanghai）Technology Co.，Ltd.，Shanghai　201300，China*）

Abstract: The handling of coiled materials is currently widespread in industries such as apparel，paper，textiles，medical，and new energy. In traditional coiled material handling，operations mainly rely on manual handling with simple equipment，which presents problems such as difficulty in manual operation，high labor intensity，and low operational efficiency.This paper addresses the technical challenges in the coiled material handling process and proposes a design scheme for an Automated Guided Vehicle （AGV） for coil handling. The specific application scenarios and design requirements of the AGV are identified，and the structural and dynamic characteristics of the AGV for handling heavy coils are analyzed. This type of AGV can achieve automated loading and transport of coils to storage warehouses or production equipment. The proposed design scheme can improve handling efficiency，reduce manual labor intensity，and save labor costs.

Key words: AGV；material roll；coil handling；handling robot

0　引　言

当前伴随着工业自动化和智能制造技术的快速发展，智能工厂、自动化产线和智能仓储等先进的机器人无人生产作业方式成为工业生产制造的主流趋势和未来发展方向。作为自动化生产中最重要的环节，实现高效率的材料搬运[1−5]具有一定的研究价值。卷料搬运场景目前大量存在于造纸、纺织、新能源、服装等智能制造工厂中，但受技术应用水平及行业发展瓶颈的限制，大部分卷料搬运仍依赖人工操作简易搬运车或自动化程度较低的设备完成。在卷料自动化转运领域，采用 AGV 及其自动化综合系统实现转运的成熟案例较少。为此，笔者对卷料搬运场景中的 AGV 技术进行了研究，提出了一种 AGV 设计方案。通过对特定应用场景进行分析与设计，实现了利用 AGV 对重载卷料进行自动化搬运。与人工搬运方式相比，该方案凭借高精度、自动化程度高和可靠性强等特点，可显著提高卷料搬运效率，降低人工搬运重载卷料的劳动强度，减少人工对接不精准和重复性差等问题，从而节约人工成本，并为该类 AGV 的进一步研究提供一定的理论基础与参考。

1　总体设计方案

为满足某新能源电芯工厂卷料搬运需求，需分析其主要技术原理及参数，卷料为铜箔，卷芯轴筒为特种塑料。卷料规格如图 1 所示，参数如表 1 所列。

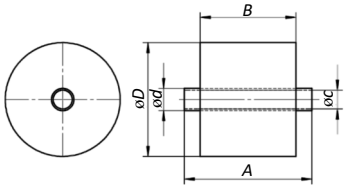


图 1　卷料规格图

表 1　卷料规格参数表

参　数	数　值	参　数	数　值
c/mm	145	*B*/mm	750
d/mm	175	*D*/mm	900
A/mm	850	*M*/kg	950

收稿日期：2025−11−26

作者简介：刘英南（1987−），男，辽宁鞍山人，工程师，研究方向：移动机器人技术和自动化装备研发。

卷料进入生产涂覆或卷绕设备时，上、下料对接操作区域均采用伸缩式气胀夹头或伸缩式电动夹头来支撑和加紧卷芯筒，轴端夹头可伸出，轴末端具有周向胀出键，用于胀紧卷芯筒。卷料上下料对接区域及轴端夹头如图 2 所示。

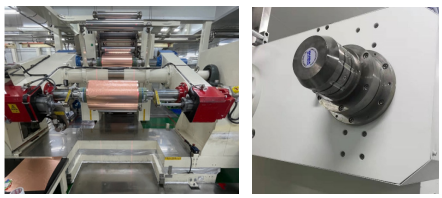


图 2　卷料上下料对接区域图及轴端夹头

综合考虑，文章设计采用的 AGV 整体设计方案采用基于全向舵轮双轮驱动、四轮支撑布置的底盘形式，上部对接装置采用双叉臂托举式搬运结构。

AGV 整体设计方案如图 3 所示，内部设计如图 4 所示。该 AGV 采用全向舵轮双驱动的四轮支撑底盘，上部为双侧独立运动的叉臂托举式对接装置，主要由立柱承载框架和托举叉臂组件组成。托举叉臂组件包括升降动力单元及物料检测传感器，外壳采用钣金结构。对接装置底部设有横向微调机构，立柱升降组件具备双侧独立调节功能，满足对接定位精度要求。

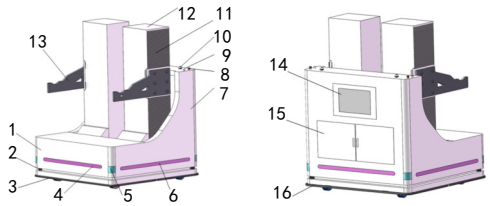


图 3　AGV 整体设计方案外观图

1.外壳　2.激光雷达　3.前防撞触边　4.前向指示灯带条　5.转向指示灯　6.侧向指示灯条　7.电气仓　8.急停按钮　9.复位按钮　10.报警三色灯　11.风琴式防滑罩　12.上部对接装置　13.托举叉臂　14.触摸屏　15.电气柜门　16.后防撞触边

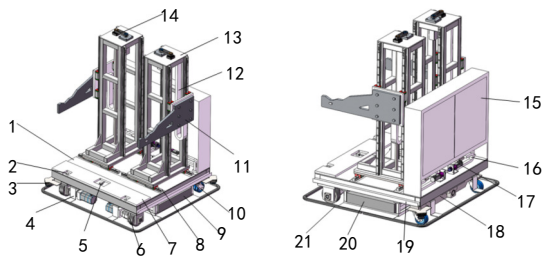


图 4　AGV 整体设计方案内部图示

1.底盘框架　2.传感器　3.激光雷达组件　4.防撞触边安装支架　5.陀螺仪组件　6.驱动轮组件　7.防护槽板　8.横向移动直线导轨组件　9.电池仓支架　10.随动万向轮组件　11.托举叉臂　12.拖链组件　13.立柱承载框架　14.升降动力组件　15.电气柜　16.拖链组件　17.横向移动动力组件　18.前桥支撑横梁　19.线缆槽架　20.电池组　21.防撞触边

AGV 传感器硬件部分安装有激光雷达元件和陀螺仪，电气控制单元位于外壳钣金的背部，采用激光和惯性融合导航算法。AGV 车体外部配有 LED 灯带和报警灯，用于作业提示和报警，车体内部同时配有语音喇叭，播报警示声音。AGV 底盘四周环绕安装防撞触边传感器，用于 AGV 运行中碰撞检测报警。

2　结构设计及分析

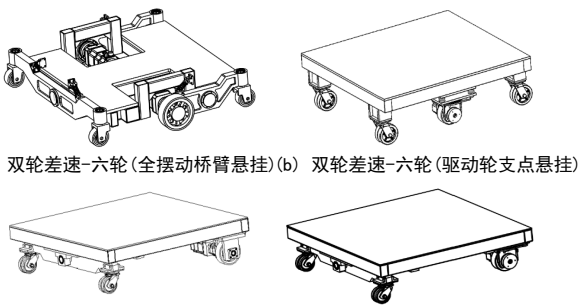
2.1　结构设计分析

设计的 AGV 底盘轮系采用四轮布置，驱动形式为双舵轮驱动，辅以双万向轮支撑；悬挂与减震系统采用前置摆臂桥结构，并配合压缩弹簧实现减震。

在工业应用中，AGV 常见驱动形式主要包括差速轮式和全向舵轮式：差速轮式依靠双驱动轮差速实现运动与转向，灵活性较差，无法实现全向移动；全向舵轮式通过舵轮实现驱动与转向，机动性强、转向灵活。

轮系悬挂系统可以将底盘轮系与底盘框架有效连接；轮系减震系统用于应对路面不平、车辆在加减速或停车过程中产生的振动和冲击，同时保证搬运负载的稳定性，减少振动影响。综合 AGV 的使用工况、运动性能、用途及移动稳定性和经济性等，常见的 AGV 底盘轮系驱动方式主要为双轮差速驱动和双舵轮驱动两种形式，辅助支撑轮通常采用万向轮结构。

底盘样式如图 5 所示，图中(a)和(c)为差动轮系驱动轮结构，(b)和(d)为舵轮结构。



(a) 双轮差速-六轮(全摆动桥臂悬挂)(b) 双轮差速-六轮(驱动轮支点悬挂)

(c) 双轮差速-四轮(前摆动桥臂悬挂) (d) 舵轮-四轮(前摆动桥臂悬挂)

图 5　底盘样式分类图示

上部对接装置主要包括承载结构、动力系统、二次对接调整系统、电气传感器元件等。根据图 2 和图 3 实际的工作场景，采用举升式搬运和双叉臂托举式搬运设计方案。举升式搬运结构如图 6 所示，双叉臂托举式搬运结构如图 7 所示。方案选取主要考虑 AGV 卷料搬运对接的实际尺寸要求、卷料搬运上下料对接区域对运动空间的要求、AGV 车体灵活性及对接区域对接点的精度调节的结构性能等因素。

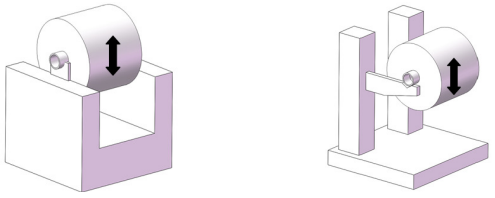


图 6　举升式结构示意图　　图 7　双叉臂托举式结构示意图

在卷料搬运对接过程中，为配合设备机台两侧独立的夹头轴端装置，AGV 上部对接装置中的双侧举升臂或托举叉臂均采用独立驱动，可实现同步升降及单侧独立调节。其升降机构由直线导轨支撑，采用滚珠丝杠驱动，并由伺服电机提供动力。

2.2 运动学分析

参考 AGV 设计方案和相关文献[5−11]进行运动学分析。如图 8 所示为 AGV 底盘轮系布置图示，双右侧舵轮驱动和双左侧万向轮支撑。舵轮转向时，每个舵轮包含：线速度 V（行走电机驱动轮滚动产生），转向角 L_{EF}（转向电机调整驱动轮方向，决定线速度矢量方向），角速度 ω（与线速度关系为 $\omega=V/r$，r 为轮半径）。

当 AGV 车体在运动过程中，其运动可视为绕车体平面任意一点的圆周运动，直线运动和自旋均可看作其特殊极限状态。当 AGV 车体绕某一圆心以半径 R 进行转向运动时，其运动分析如图 9 所示。

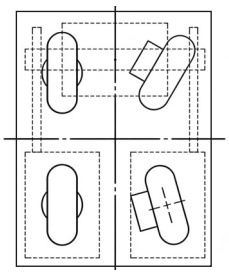


图 8 AGV 底盘轮系布置

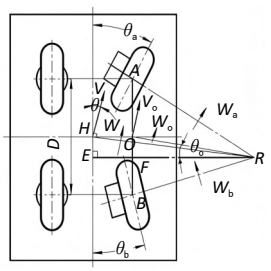


图 9 AGV 绕着某一圆心点转向运动

AGV 几何中心点为(V,W,θ)，两舵轮间距 D，则舵轮 A 参数(V_a,W_a,θ_a)和舵轮 B 参数(V_b,W_b,θ_b)。

由于(V,W,θ)已知，可得$W=V/R$；由于轮系与 AGV 车体为刚性悬挂连接，即得$W=W_o=W_a=W_b$；由 L_{EF}、转向角θ、L_{OF}和L_{RF}已知，得θ_o和V_o。

$$L_{RA}{}^2=[D/2+R\cos(2\pi-\theta_o)]^2+[R\sin(2\pi-\theta_o)]^2 \quad (1)$$

$$L_{RB}{}^2=[D/2-R\cos(2\pi-\theta_o)]^2+[R\sin(2\pi-\theta_o)]^2 \quad (2)$$

$$\tan(2\pi-\theta_a)=\frac{R\sin(2\pi-\theta_o)}{D/2-R\cos(2\pi-\theta_o)} \quad (3)$$

$$\tan(2\pi-\theta_b)=\frac{R\sin(2\pi-\theta_o)}{D/2+R\cos(2\pi-\theta_o)} \quad (4)$$

式中：(V, W, θ)为下发给 AGV 车体几何中心点的参数；D 为两舵轮之间距离；(V_a, W_a, θ_a)为舵轮 A 的参数；(V_b, W_b, θ_b)舵轮 B 的参数；V 为线速度（行走电机驱动轮滚动产生）；L_{EF}为转向角；W 为角速度。整理计算后，可以得到θ_a，θ_b，V_a，V_b之间的数学关系。

2.3 动力学分析

根据 AGV 总体设计方案以及相关文献理论研究[6−11]进行动力计算分析。假设车体重心位于刚性体中心，对外部进行受力分析计算，如图 10 所示。

车辆在正常行驶时需要克服的因素：路面滚动摩擦阻力F_f、坡度路面阻力F_i、空气阻力F_w、加速行驶时加速阻力F_j，则车辆行驶时受到总阻力为：

$$\sum F=\sum F_f+\sum F_w+\sum F_i+\sum F_j \quad (5)$$

根据场景需求条件，卷料重量$m_{料}$=1 500 kg，车本体$m_{车}$=1 000 kg，满载行驶速度 S_m= 0.6 m/s，空载行驶速度 S_K=1.0 m/s，最大加速度 a=0.5 m/s^2，车辆爬坡能力最大坡度 β=5°，迎风面积 A=2.6 m^2，车轮半径 r=0.120 m，车轮宽度 L=0.050 m，车辆运行的平均速度 V=m/s，转向机构舵轮转向齿盘齿数 $Z_{大}$=45，减速机减速比 i=15，减速机小齿轮齿数 $Z_{小}$=18，减速机效率 n_1=0.90，转向机构效率 n_2=0.85。

（1）路面滚动摩擦阻力F_f

已知车辆驱动轮为橡胶材质，行驶路面为混凝土路面，则车辆车轮在路面正常行驶时候的滚动阻力系数μ=0.018 ~ 0.020，此处取μ=0.020，则根据公式计算：

$$F_f=mg\mu=490\ \text{N} \quad (6)$$

（2）坡度路面阻力 F_i

根据公式计算坡度路面阻力为：

$$F_i=mg\sin\beta=686\ \text{N} \quad (7)$$

（3）空气阻力F_w

由于车辆室内运行，空气阻力微小，取风阻力系数 C_D=0.60，车辆最高速度行驶状态下空气阻力为：

$$F_w=C_DAV/21.15=0.07\ \text{N} \quad (8)$$

（4）加速阻力F_j

根据公式计算加速阻力为：

$$F_j=ma=1\ 250\ \text{N} \quad (9)$$

（5）车辆总阻力

将上述数值代入式(5)可得车辆总阻力。

$$\sum F=\sum F_f+\sum F_w+\sum F_i+\sum F_j=2\ 426\ \text{N} \quad (10)$$

（6）总驱动扭矩 $T_{总}$

双舵轮速驱动，工况系数S_a=1.2，总驱动扭矩为：

$$T_{总}=S_a\sum M=S_a\cdot\sum F\cdot r=349.8\ \text{Nm} \quad (11)$$

（7）单个驱动轮需要的最大扭矩：

$$T_{max}=T/2=174.9\ \text{Nm} \quad (12)$$

（8）转向电机的转向力矩

转向机构转向总力矩：

$$T_{转}=FL/2=12.25\ \text{Nm} \quad (13)$$

转向电机所需转向力矩：

$$T_{转电}=T_{转}Z_{小}/(iZ_{大}\eta_1\eta_2)=0.427\ \text{Nm} \quad (14)$$

（9）万向轮承载受力 $F_{万}$

安全系数 S=1.2，承载轮数量 N=4，单个万向轮受力：

$$F_{万}=(G_{车}+G_{载})S/N=7\ 500\ \text{N} \quad (15)$$

由于双叉臂托举卷料造成卷料重心相对于车辆中心偏载，需要进行内部偏载受力计算。将上部承载部分视为刚体，针对卷料负载和车体轮系受力，车体内部进行受力分析计算，示意图如图 11 所示。

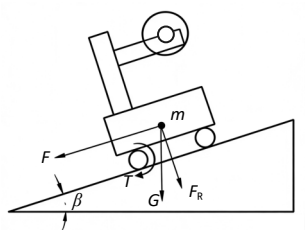


图 10　AGV 车辆行驶时的受力图

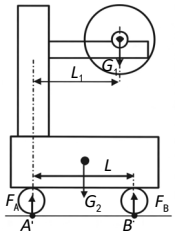


图 11　整车承载受力分析图

沿着车前进方向作为轴线，取单侧面轮系计算受力分析，已知$G_1 = m_{料}$g=7 350 N，$G_2 = m_{车}$g=4 900 N，则：

$$\begin{cases} F_A + F_B - G_1 - G_2 = 0 \\ G_1 L_1 - F_B L + G_2 \dfrac{L}{2} = 0 \\ G_1 (L - L_1) - F_A L + G_2 \dfrac{L}{2} = 0 \end{cases} \tag{16}$$

解得：

$$\begin{cases} F_A = G_1 + \dfrac{G_2}{2} - \dfrac{G_1 L_1}{L} \\ F_B = \dfrac{G_2}{2} + \dfrac{G_1 L_1}{L} \end{cases} \tag{17}$$

式中：$m_{料}$卷料重量；$m_{车}$车本体重量；L底盘前后轮距；L_1悬臂距离；g重力加速度；F_A 为 A 点受力；F_B 为 B 点受力；G_1、G_2 分别为料卷重力和车本体重力。带入数据得计算结果，F_A=4 900 N，F_B=7 350 N。

3　控制系统

AGV 车辆控制系统架构如图 12 所示。控制系统硬件方面，主控采用 X86 工控机，底层由 PLC 控制器实现控制；软件部分[12−18] 基于机器人操作系统 ROS2，工控机运行 Ubuntu 22.04 版本 Linux 系统。Ubuntu 22.04ROS2 是一种广泛应用的分布式处理框架，提供丰富的函数库及组件化工具，支持 C++、Python 等多种编程语言，已成为机器人软件开发的主流平台。

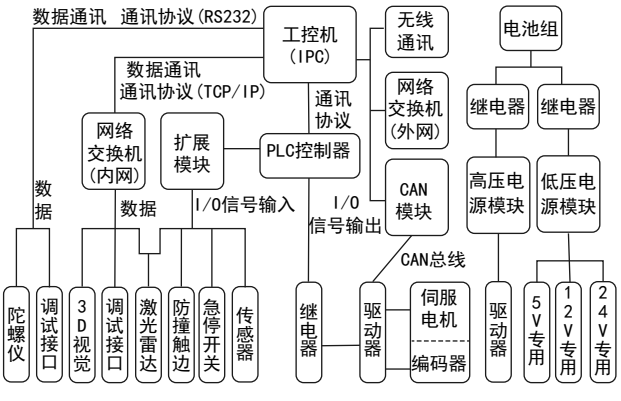


图 12　AGV 整体电气控制系统架构图示

AGV 整体系统主要包括 AGV 车辆控制系统、AGV 车辆调度系统、任务订单系统，其整体网络拓扑简图如图 13 所示。

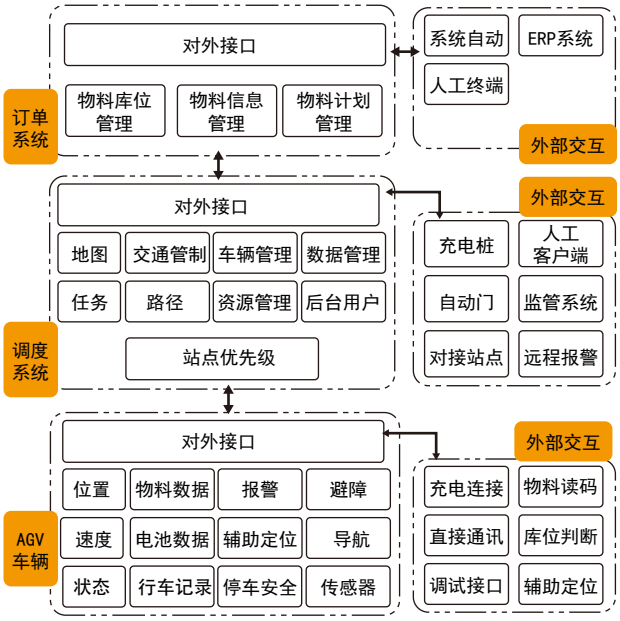


图 13　车辆任务系统网络拓扑及流程

4　结　语

文章针对料卷搬运提出了一种 AGV 搬运机器人方案，并进行了设计与分析。基于卷料应用场景要求，通过实施该 AGV 方案，能够实现预定设计功能，完成指定参数卷料的自动搬运，从而显著提高卷料搬运效率，降低人工劳动强度并节约人工成本。该方案为卷料搬运机器人后续研究提供了一定的理论基础，同时也可为其他类型包装物料的 AGV 搬运机器人设计提供参考。但在 AGV 与设备高精度对接过程中，与高精度无人自动化对接作业的实现相比仍存在一定技术问题，有待进一步深入研究和改进。

参考文献：

[1] 孙雪颜. 无人泊车 AGV 系统的规划与任务分配研究 [D]. 大连：大连理工大学，2018.
[2] 冯林林，陆德利. AGV 智能搬运系统在白车身调整线的应用 [J]. 装备制造技术，2016(12)：167−169.
[3] 张红梅，卢　亚，明五一，等. 高速、高精智能化锂电池涂布机关键技术研究 [J]. 机电工程技术，2018，47(7)：10−13.
[4] 王新宇，王　越. 一种搬运卷类物料 AGV 的设计与应用 [J]. 物流技术与应用，2025(1)：137−140.
[5] 吴　律. 重载自动导引车的结构设计与运动分析 [D]. 沈阳：沈阳工业大学，2020.
[6] 游佳朋. 港口自动引导车智能调度系统设计 [J]. 机械设计与研究，2022，38(2)：7−11+17.
[7] 王殿君. 物流 AGV 机器人举升剪叉臂结构优化设计与分析 [J]. 现代制造工程，2022(9)：34−39+81.

（下转第 85 页）

4 结构优化

当吊装结构在吊起最大设备质量(300 kg)时，整体变形量约 41.19 mm，变形较大，基于仿真结果，对结构进行适当优化以提高结构整体的刚度，同时改善应力。通过在纵梁中间增加两根横梁，横梁截面尺寸为 95 mm×60 mm，厚度 4 mm，两根横梁与纵梁间通过焊接进行连接，如图 8 所示。对优化后的整体结构再次进行仿真计算，分析结果如图 9～12 所示。

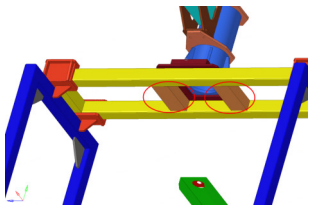


图 8 增加横梁

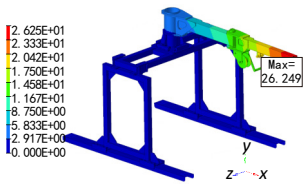


图 9 整体变形云图

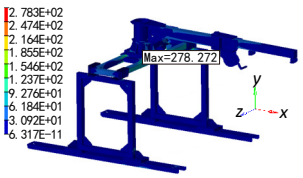


图 10 整体应力云图

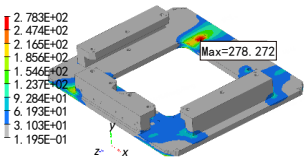


图 11 底板支座应力云图

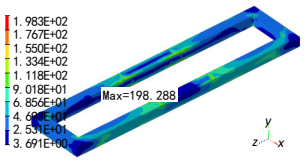


图 12 纵梁应力云图

由图 9～12 可知，增加横梁后，整体结构刚度得到了提升，变形量由原来的 41.19 mm 降低至 26.24 mm，变形量减少了 36.3%。忽略应力集中的影响，底板支座最大等效应力由原来的 369.04 MPa 降低至 278.27 MPa，最大等效应力降低了 24.6%。纵梁最大等效应力由原来的 246.06 MPa 降低至 198.29 MPa，最大等效应力降低了 19.4%，优化前后的分析结果对比如表 3 所列。

表 3 分析结果对比

对比项	优化前	优化后	差值占比
整体最大变形量/mm	41.19	26.24	36.3%
底板支座最大等效应力/MPa	369.04	278.27	24.6%
纵梁最大等效应力/MPa	246.06	198.29	19.4%

通过增加横梁结构，结构整体变形、应力均得到了不同程度的改善。经方案评估及结合现场验证情况，优化后的结构满足工厂使用要求。

5 结 语

文章以工厂生产线改造过程中的吊装结构为研究对象，通过 Hypermesh 建立了吊装结构的有限元模型，然后采用 Abaqus 作为非线性分析求解器，对吊装结构在极限工作状态下吊起规定质量货物时的应力和变形情况进行了仿真模拟，并提出了吊装结构优化方案。优化后整体最大变形量减小了 36.3%，整体最大等效应力减小了 24.6%，提高整体刚度的同时改善了应力，提高了结构安全性。该仿真分析数据为工厂生产线改造过程中评估吊装结构方案设计的合理性和结构优化提供了重要参考依据，优化后的吊装结构满足现场使用要求。

参考文献：

[1] 陈宏钧. 实用机械加工工艺手册 [M]. 北京：机械工业出版社，2009.
[2] 江丙云，孔祥宏，罗元元. ABAQUS 工程实例详解 [M]. 北京：北京人民邮电出版社. 2014.
[3] 张胜兰，郑冬黎，郝 琪，等. 基于 HyperWorks 的结构优化设计技术 [M]. 北京：机械工业出版社，2007.
[4] 王钰栋，金 磊，洪清泉. Hypermesh&Hyperview 应用技巧与高级实例 [M]. 北京：机械工业出版社，2012.

(上接第 82 页)

[8] 曹冲振，王洪祥，王凤琴，等. AGV 的设计计算和不平路况下运行的稳定性的仿真分析 [J]. 物流技术与应用，2019，24(4)：128−131.
[9] 魏毅龙，程志红. 轮式移动机器人平面运动学建模与分析 [J]. 机械传动，2025，49(2)：29−38.
[10] 成大先. 机械设计手册 [M]. 6 版. 北京：化学工业出版社，2017.
[11] 肖黎明. 基于 2.5 t 纯电动物流车的底盘布置及动力匹配计算 [J]. 科技创新导报，2018，15(2)：82−83.
[12] 李昆鹏，刘腾博. 半导体生产车间智能 AGV 路径规划与调度 [J]. 计算机集成制造系统，2022，28(9)：2970−2980.
[13] 汪星恺. 无缓存流水线生产系统中 AGV 调度问题的研究 [J]. 东北大学学报 (自然版)，2024，45(1)：58−67+75.
[14] 刘英南，冉东来，张 弢. 协同装置、方法、装配系统、电子设备及存储介质：中国，CN114905433A[P]. 2025−04−25.
[15] 刘英南，瞿天赐，黄宗勇，等. 具有协同搬运装置的自动导引车：中国，CN114715023A[P]. 2025−12−30.
[16] 王浩吉，杨永帅. 重载 AGV 的应用现状及发展趋势 [J]. 机器人技术与应用，2019(5)：20−24.
[17] 吴立辉，顾天鑫，石津铭. 柔性制造车间多载具 AGV 节能调度 [J]. 应用技术学报，2024，24(12)：451−458.
[18] 林 硕，吴勇鹏，韩忠华，等. 多 AGV 在线任务调配与无冲突路径规划 [J]. 控制工程，2024(5)：1−9.