

文章编号:1671-251X(2024)S2-0267-06

电动电缆收放车电缆盘装载卸载系统研究

孙德宇

(国能神东煤炭集团有限责任公司 上湾煤矿, 内蒙古 鄂尔多斯 017209)

摘要:针对传统的煤矿井下电缆收放技术存在人工收放缆劳动强度大、作业时间长,影响挖掘效率等问题,提出一种电动电缆收放车电缆盘装载卸载系统,通过连杆机构与液压系统的联动,实现电缆盘装载上车及卸载下车的功能。电动电缆收放车电缆盘装载卸载系统能满足井下移动用电设备对动力或控制电缆收缆和放缆的需求,电缆收放车在既能满足车辆移动特性的同时,又能满足电缆盘方便装载和脱离车辆。

关键词:电缆收放车; 机构与液压复合联动; 装载和卸载

中图分类号:TD714

文献标志码:A

Research on cable disk loading and unloading system of electric cable retractable vehicle

SUN Deyu

(Shangwan Coal Mine, CHN Energy Shendong Coal Group Co., Ltd., Ordos 017209, China)

0 引言

随着近几年井下大采高工作面的不断开发,综采设备越来越趋于自动化、智能化发展。然而煤矿作业场所多为地下作业,作业环境具有明显的特殊性。由于受限于煤层厚度,薄煤层和极薄煤层作业空间往往非常狭小,设备转运和作业极为不便,且作业场所在地下,井深巷远,加上辅助时间,卷缆放缆作业人员在井下工作时间长,劳动强度大。传统的电缆盘需通过装载机来运输,不同尺寸规格的电缆盘导致装载和卸载的过程十分繁琐。电缆收放车作为一种电缆收放装置,具备自动化、能移动的优点,在满足方便快速的卷缆放缆功能的同时,还能实现电缆盘从车辆上快速装载和卸载,是现代化采煤工艺必不可少的辅助运输设备^[1-2]。

在电缆收放车工作时,需实现电缆盘的装载上车和卸载下车这个重要功能,该功能的机构设计合理性是其难点,本文提出了一种多连杆机构作为传动技术,来实现电缆盘的装载和卸载,它能够很好的满足设计者所需求的多种运动规律和运动轨迹的要求,且多连杆机构结构简单,制造容易。通过多体动力学软件 ADAMS 进行仿真优化点位设计,得到合理的机构设计后,再通过有限元分析软件 ABAQUS 核实结构强度是否满足设计需求,最终高效便捷的实现电缆盘装载和脱离车辆功能。

1 电缆盘的装载卸载功能

电缆收放车如图 1 所示,虚线框部分即为电动电缆收放车电缆盘装载卸载系统,由后车架、后摆梁、排缆梁、举升梁油缸、排缆梁油缸、支撑座和连接它们的销轴一起组成,这些销轴连接起各个组件,在特定的条件下可以使组件之间发生相对转动。举升梁油缸的伸缩调整后摆梁的高度调整,实现电缆盘的离地和落地功能,排缆梁油缸的伸缩可以调整排缆梁的高度调整,后摆梁的高度调整与排缆梁的高度调整是电缆盘从车辆后方正常出入的保障。

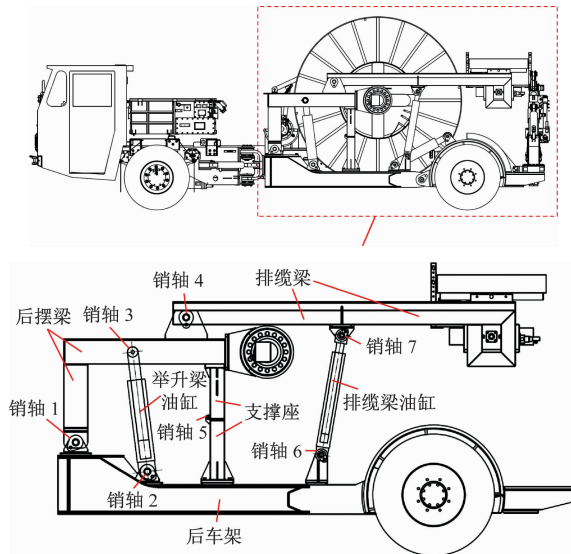


图 1 电缆收放车

收稿日期:2024-06-30;编辑:郑海霞。

作者简介:孙德宇(1987—),男,吉林集安人,工程师,研究方向为煤矿机械设备、电气设备的研究与设计,E-mail:327545214@qq.com。

首先提升举升梁油缸,将支撑座悬空与后摆梁脱离不受力,方便支撑座绕销轴 5 旋转放下(图 2),支撑座放下后,再下降电缆盘支撑油缸到极限最短位置,后摆梁下降,排缆梁提升(图 3),提升排缆支撑油缸到极限最长位置,排缆梁提升到最高位置(图 4)。然后将电缆盘滚入卷缆装置后,与后摆梁固定(图 5),下降排缆支撑油缸到极限最短位置(图 6),提升举升梁油缸到最长(图 7)。最后将支撑座撑起,再将举升梁油缸恢复到零位,如图 8 所示。

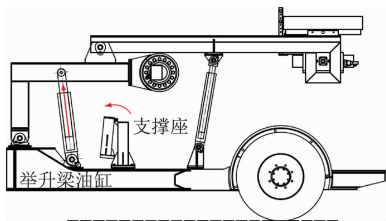


图 2 支撑座放下

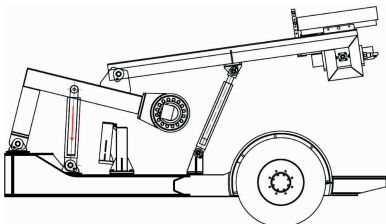


图 3 举升梁油缸下降

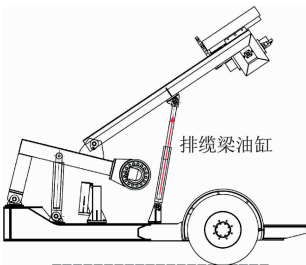


图 4 排缆梁油缸举升

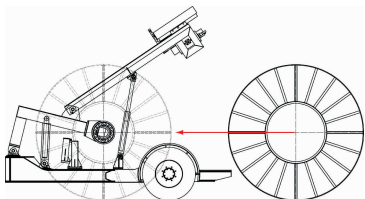


图 5 电缆盘装载

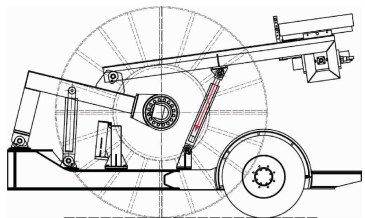


图 6 排缆梁油缸下降

电缆盘的卸载过程和装载过程正好相反,当需要将电缆盘卸载的时候,反向操作,实现电缆盘的卸载功能。

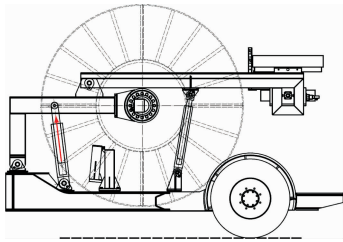


图 7 举升梁油缸提升

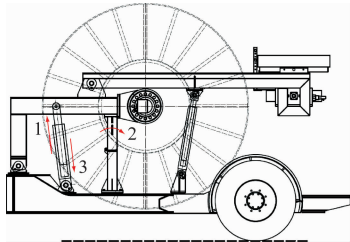


图 8 支撑座支撑

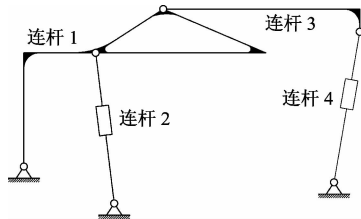


图 9 电缆盘的装载和卸载多连杆机构

2 电缆盘装载卸载系统方案

2.1 多连杆机构原理

电动电缆收放车电缆盘装载卸载系统由多个组件组成,可以简化成多连杆,多连杆机构由连杆 1,连杆 2,连杆 3 和连杆 4 组成,如图 9 所示。连杆 2 和连杆 4 具备长度调节的能力,通过长度的调整,连杆 1 和连杆 3 形成耦合运动,实现机构对电缆盘的装载和卸载功能。连杆 1 和车架构成旋转副 1,连杆 2 和连杆 1 构成旋转副 2,连杆 3 和连杆 1 构成旋转副 3,连杆 3 和连杆 4 构成旋转副 5,连杆 4 和车架构成旋转副 6。由于连杆 2 和连杆 4 具备可伸缩性,作为特殊构建处理^[3-8]。

2.1.1 多连杆机构布置

多连杆机构布置如图 10 所示,最小规格电缆盘要保证落地,电缆盘中心点下落高度 H_1 最小为 400 mm,最大规格电缆盘要保证从车尾滚动出来,排缆装置举升提升高度 H_3 最小为 1 132 mm,换算成排缆梁油缸铰接点提升高度 H_2 最小为 500 mm。

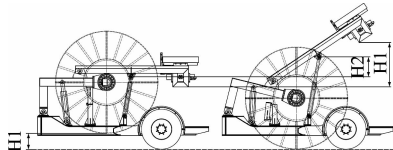


图 10 多连杆机构布置

2.1.2 机构点位计算及布置

平面多连杆机构设计优化的目的,就是确定各

连杆机构的点位位置,使连杆上设计需求点沿预期轨迹运动,使机构件满足设计目标。合理的机构点位是设计过程中用来提高机械的工作效率、提高机构运动的合理性,满足机构动力性能的一种设计方法。然而平面多连杆机构的传统设计方法较为繁杂,采用机械系统自动动力分析(Automatic Dynamic Analysis of Mechanical System,ADAMS)不仅能分析处理各种动力学机构,还能通过蒙特卡洛算法对机构点位做优化处理,提供优秀的设计方案^[4]。采用 ADAMS 对连杆机构的各个点位进行优化仿真^[5-7],设定 H_1 和 H_2 优化目标值,进行快速有效的建模与仿真分析,如图 11 和图 12 所示。

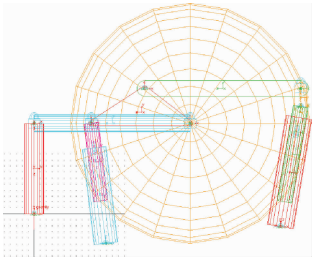


图 11 连杆机构模型

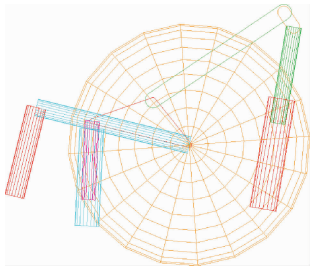


图 12 连杆机构运动仿真

利用 ADAMS 运动学对连杆机构点位布置进行迭代仿真,得到机构各连接点的点位,见表 1。

表 1 连杆机构各连接点点位

序号	X/mm	Y/mm	备注
1	0	0	后摆臂与车架铰接点
2	0	755	后摆臂拐点
3	475	755	举升梁油缸与后摆臂铰接点
4	597.5	-244.5	举升梁油缸与车架铰接点
5	922	1 045	后摆臂与排缆梁铰接点
6	2 222	895	排缆梁油缸与排缆梁铰接点
7	2 222	1 045	排缆梁拐点
8	1 600	755	电缆盘中心点
9	2 052	-104.5	排缆梁油缸与车架铰接点

经过仿真计算,得出各油缸受力及优化目标 H_1 和 H_2 的曲线,如图 13—图 16 所示。举升油缸最大出力 $F_1=221\,000\text{ N}$,行程 $L_1=140\text{ mm}$,排缆油缸最大出力 $F_2=65\,610\text{ N}$,行程 $L_2=507\text{ mm}$,电缆盘中心竖直方向下降 400 mm ,排缆梁

油缸铰接点提升高度为 500 mm 。通过 ADAMS 点位优化,完全达成优化目标。

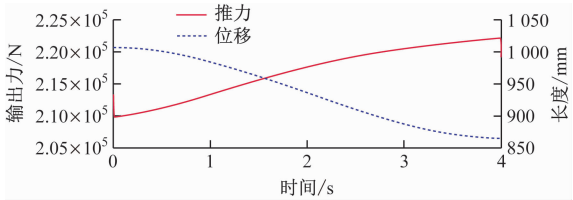


图 13 举升油缸力与位移曲线

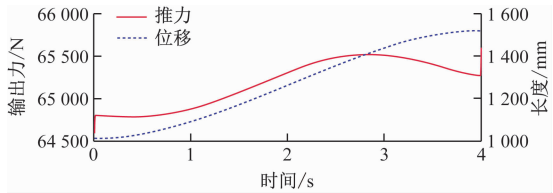


图 14 排缆梁油缸力与位移曲线

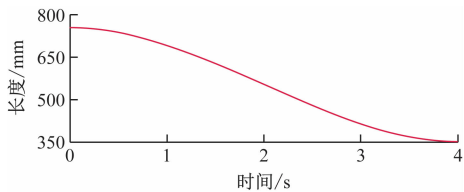


图 15 电缆盘中心位移曲线

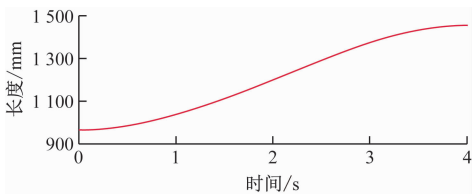


图 16 排缆机构位移曲线

2.2 装载卸载过程液压系统工作原理

在电缆盘装载和卸载的过程中,液压系统采用油液作为工作介质,通过液压泵给油液提供内部的压差来传递机械力,液压系统分为动力部分、控制部分、辅助部分。动力部分是将动力机的机械能转换为油液的压力能,例如各种液压泵。控制部分是用来控制和调节油液的压力、流量和流动方向。辅助部分包括软硬管路、接头、油箱、滤油器、蓄能器、密封件和显示仪器等。

电缆收放车遥控液压系统是实现电缆盘装载和卸载相关功能的重要组成。系统主要由齿轮泵、遥控过滤阀、遥控四联 PSL 多路阀、排缆马达、电缆绞车、绞盘举升油缸、排缆装置举升油缸及管路等组成。其液压原理图如图 17 所示。PSL 多路阀配合定量齿轮泵使用,执行机构流量只取决于 PSL 多路阀中三通流量阀的节流口开口面积大小,与负载无关,多余流量通过三通流量阀 T 口流回油箱^[9-10]。

遥控液压系统通过遥控器上的操作手柄可以实现电缆盘的升降、排缆装置的升降、电缆收放和自动排缆的功能,其控制方式见表 2。

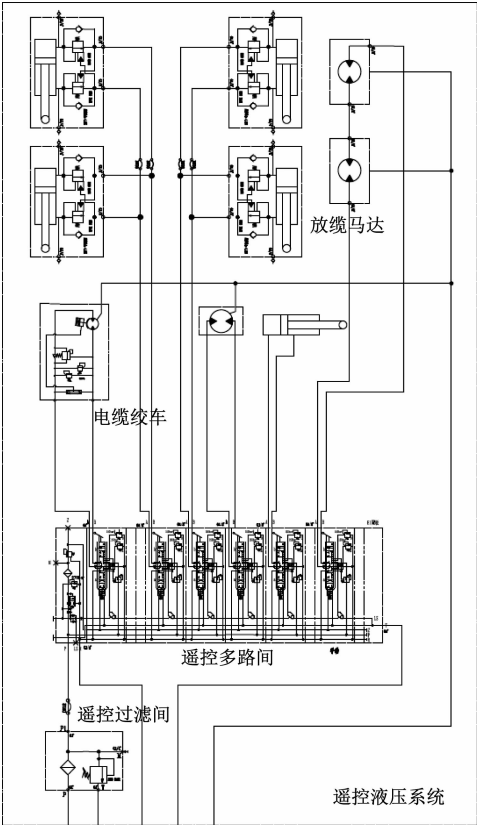


图 17 遥控液压系统

矿区共有 4 种电缆,分别对应 4 种排缆档位。当车辆需要装载电缆盘时,假设所收电缆为最大直径型号,首先需将自动排缆档位旋钮旋至档位 1,此时排缆马达还处于静止状态。其次,将电缆收放开关拨至收电缆位,控制器控制各电磁阀得电情况(Y5 为得电,Y6 为不得电,Y7 为得电,电流大小为 0.2 A,Y8 为不得电)。然后,后摆臂油缸开始提升,同时排缆马达开始转动,带动排缆油缸提升,当排缆油缸和后摆臂油缸到达最高点时,触发右侧接近开关,控制器输出自动排缆电磁阀得电情况:Y8 得电,电流大小为 0.2 A,Y7 不得电。最后,后摆臂油缸开始反向下落,带动排缆油缸下降,当排缆油缸和后摆臂油缸达到最低位置时,触发左侧接近开关,卸载电缆盘的工作又开始,如此循环往复,从而实现电缆盘的装载和卸载的功能。

当车辆需要运行时,将电缆收放开关拨至放电缆位,此时 Y5 不得电,Y6 得电,Y12 得电,电缆盘固定在车辆上,在车辆运行时,保证其安装运输。

2.2.1 后摆臂举升油缸

根据 ADAMS 计算得到的油缸力和位移曲线,选定后摆臂举升油缸参数见表 3。

由表 3 可知,绞盘举升油缸缸径 $D=110\text{ mm}$,杆径 $d=80\text{ mm}$ 。则油缸无杆腔工作面积 $A_1=\pi D_2^2/4=9\,503\text{ mm}^2$,油缸有杆腔工作面积 $A_2=\pi(D_2-d_2)^2/4=4\,477\text{ mm}^2$,举升动作时,油缸缸杆

表 2 遥控控制

遥控动作	控制信号	信号类型	输入电流大小/A	备注
电 缆 盘 油缸升	Y1	模拟量	0-1	—
电 缆 盘 油缸降	Y2	模拟量	0-1	—
排缆装置油缸升	Y3	模拟量	0-1	—
排缆装置油缸降	Y4	模拟量	0-1	—
电缆收	Y5	模拟量	1.0	—
电缆放	Y6	模拟量	1.0	—
排缆 1 档升至降	Y7	开关量	0.2	行程开关自动控制换向
排缆 1 档降至升	Y8	开关量	0.2	行程开关自动控制换向
排缆 2 档升至降	Y7	开关量	0.4	行程开关自动控制换向
排缆 2 档降至升	Y8	开关量	0.4	行程开关自动控制换向
排缆 3 档升至降	Y7	开关量	0.6	行程开关自动控制换向
排缆 3 档降至升	Y8	开关量	0.6	行程开关自动控制换向
排缆 4 档升至降	Y7	开关量	0.8	行程开关自动控制换向
排缆 4 档降至升	Y8	开关量	0.8	行程开关自动控制换向
自动放缆	Y9	模拟量	1.0	—
解除电缆盘制动	Y12	开关量	1.0	—

表 3 绞盘举升油缸参数

油缸名称	缸径/mm	杆径/mm	行程/mm	数量/个
绞盘举升油缸	110	80	240	2

伸出,大腔进油。单支举升缸提供拉力 $F=221\,000/2\text{ N}$ 。工作压力 $P=F/A_1=12\text{ MPa}$ 。

绞盘举升缸大腔所需最大油量为 4.56 L,举升缸小腔排出最大油量为 2.14 L。举升缸动作的时间为 6 s,根据公式 $Q=V/t$,得大腔流量为 45.6 L/min,小腔流量为 21.4 L/min。根据举升油缸压力及流量计算得举升最大功率为

$$P_1=\frac{pQ}{\eta}=\frac{12\times45.6}{0.95\times60}\text{ kW}=9.6\text{ kW}$$

2.2.2 排缆梁油缸

根据 ADAMS 计算得到的油缸力和位移曲线, 选定排缆梁举升油缸及铲板倾斜油缸参数, 见表 4。

表 4 排缆举升油缸参数

油缸名称	缸径/mm	杆径/mm	行程/mm	数量
排缆梁举升油缸	90	63	500	2

由表 4 可知, 排缆举升油缸缸径 $D=90\text{ mm}$, 杆径 $d=63\text{ mm}$, 则油缸无杆腔工作面积 $A_1=\pi D_2^2/4=6\ 362\text{ mm}^2$, 油缸有杆腔工作面积 $A_2=\pi(D_2^2-d_2^2)/4=3\ 244\text{ mm}^2$ 。举升动作时, 油缸缸杆伸出, 大腔进油。单支举升缸提供拉力 $F=65\ 610/2=32\ 805\text{ N}$ 。工作压力 $P=F/A_1=8\text{ MPa}$ 。

排缆举升油缸大腔所需最大油量为 6.39 L , 举升油缸小腔排出最大油量为 3.24 L 。举升缸动作的时间为 6 s , 根据公式 $Q=V/t$, 得大腔流量为 63.9 L/min , 小腔流量为 32.4 L/min 。根据压力及流量计算得排缆举升油缸消耗功率为

$$P_1=\frac{pQ}{\eta}=\frac{8\times 63.9}{0.95\times 60}\text{ kW}=8.97\text{ kW}$$

通过 ADAMS 计算提供的参数, 再对油缸进行选型和油缸的功能性能复校核, 液压系统满足设计要求。

3 有限元受力分析

ABAQUS 是一款功能强大的有限元分析软件, 它融合结构力学、传热力学、流体力学、声学、电学及热耦合、流固耦合、热电耦合、声电耦合于一体^[11], 可以分析复杂的固体力学、结构力学、土力学系统, 并能够驾驭非常庞大复杂的工程, 特别是非线性问题处理能力强大。电缆盘装载卸载包含大量的运动机构, 其力的传递方式主要是通过铰接点的销轴接触, 这种特点属于典型的非线性受力, 采用 ABAQUS 作为有限元分析工具^[15-16], 能较好地处理这种非线性问题。

3.1 前处理

在确定电缆盘装载卸载机构的点位油缸规格后, 再完善其结构设计, 将 ADAMS 输出的点位受力作为输入条件, 对装载卸载机构做强度分析校核。根据车辆载荷, 对车辆整车做多工况分析, 包含车辆满载工况、过坑工况、过坎工况、转向工况和制动工况^[13]。其中机构的铰接点销轴连接是有限元分析前处理过程中的重点, 需要采用专业的前处理进行网格划分。通过 HyperMesh 对铰接点销轴采用六面体网格划分, 其他部分装载卸载机构结构件采用壳单元和六面体网格划分处理, 如图 18 所示。处理

后输出 inp 文件, 提交到 ABAQUS 软件计算, 得到仿真结果数据^[11]。

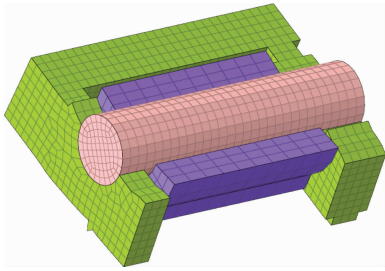


图 18 装载卸载机构铰接点六面体网格划分

3.2 计算结果

经有限元计算, 电缆盘装载卸载机构在过坑工况状态下受力最大, 经过分析计算应力云图, 如图 19 所示。

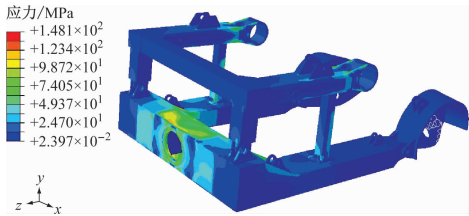


图 19 装载卸载机构应力云图

由图 19 可看出, 铰接座最大应力为 148 MPa , 装载卸载机构其他部位应力均低于 100 MPa , 装载卸载机构的主要材料选用 Q355B 钢板, 铰接座选用 Q690 钢板, 最小安全系数能达到 2.4 , 满足强度要求^[12]。

4 结语

电动电缆收放车电缆盘装载卸载系统, 实现了电缆盘在装载和卸载, 相较于传统的电缆收放, 大大提高了井下工作的效率, 提高了整车在煤矿井下运行的安全性, 此技术为井工矿特殊车辆实现电缆盘装载和卸载提供了使用示例和理论依据。

参考文献:

[1] 张洪欣. 汽车设计: 第 2 版[M]. 北京: 机械工业出版社, 1995.

[2] 马新民, 王启广. 矿山机械: 第 3 版[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2015.

[3] 孙桓, 陈作模, 葛文杰. 机械原理: 第 8 版[M]. 北京: 高等教育出版社, 2013.

[4] 陈峰华. ADAMS 2016 虚拟样机技术从入门到精通[M]. 北京: 清华大学出版社, 2017.

[5] 范成建. 虚拟样机软件 MSC. ADAMS 应用与提高[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.

[6] 梁崇高, 阮平生. 连杆机构的计算机辅助设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 1986.

保障系统软件开发与应用[J]. 煤炭科学技术, 2022, 50(7):13-24.

[5] 王显政. 我国煤矿安全生产 50 年回顾与展望[J]. 煤矿安全, 2020, 51(10):1-4.

[6] 杨梦, 陈宁, 范誉航. 煤矿事故案例存储与检索研究[J]. 煤炭科学技术, 2021, 49(9):103-109.

[7] 陈孝慈, 李东海. 煤矿安全大数据特征及治理方法体系研究[J]. 工矿自动化, 2023, 49(5):52-58.

[8] 杨新华, 唐建军, 旷巍. 湖南省近年煤矿安全形势分析及对策[J]. 能源与节能, 2022(9):204-206.

[9] 宁小亮. 2013—2018 年全国煤矿事故规律分析及对策研究[J]. 工矿自动化, 2020, 46(7):34-41.

[10] 翟昊星. 分析起重机械在各类载荷条件下的抗倾覆稳定性[J]. 现代制造技术与装备, 2018(7):167-168.

[11] 丁浩. 一种越野车防倾覆装置研究与设计[D]. 沈阳: 沈阳理工大学, 2021.

[12] 王玉龙, 单科科, 吴俊. 一起流动式起重机倾覆事故的原因探讨[J]. 机械工程师, 2018(8):128-129, 132.

[13] 陈莹. 起重机抗倾覆稳定性分析[J]. 中国设备工程, 2021(17):178-179.

[14] 石琪晟, 杨峰, 虞杰. 汽车起重机倾覆事故分析及其抗倾覆能力研究[J]. 中国设备工程, 2017(13):166-167.

[15] 陈莹. 起重机抗倾覆稳定性分析[J]. 中国设备工程, 2021(17):178-179.

[16] 宋义彤. 车辆主动前轮转向与主动横向稳定杆集成协调控制[D]. 长沙: 湖南大学, 2016:1-7.

[17] JAVANSHIR I, MASELENO A, TASOOJIAN, et al. Optimization of suspension system of heavy off-road vehicle for stability enhancement using integrated anti-roll bar and coiling spring mechanism[J]. Journal of Central South University, 2018, 25(9):2289-2298.

[18] 潘鑫, 李贺兵, 奚云峰. 起重机械在各类载荷条件下的抗倾覆稳定性[J]. 化工管理, 2019(33):147.

[19] NAIR H M, SUJATHA C. Prevention of vehicle rollover after wheel lift-off using energy-based controller with proportional gain augmentation[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering, 2020, 234(4):963-980.

(上接第 271 页)

[7] 洪嘉振. 计算多体系统动力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2009

[8] 濮良贵, 陈国定, 吴立言. 机械设计: 第 9 版[M]. 北京: 高度教育出版社, 2013.

[9] 刘银水, 李壮云. 液压元件与系统: 第 4 版[M]. 北京: 机械工业出版社, 2019.

[10] 王意. 车辆与行走机械的静液压驱动[M]. 北京: 化学工业出版社, 2014.

[11] 石亦平, 周玉蓉. ABAQUS 有限元分析实例详解[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.

[12] 温秉权, 王宾, 路学成. 金属材料手册: 第 2 版[M]. 北京: 电子工业出版社, 2013.

[13] 余志生, 夏群生. 汽车理论: 第 6 版[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.

[14] 方献军, 张晨, 马小康, 等. HyperMesh&HyperView 应用技巧与高级实例: 第 2 版[M]. 北京: 机械工业出版社, 2017.

[15] 王勖成, 邵敏. 有限单元法基本原理和数值方法: 第 2 版[M]. 北京: 清华大学出版社, 2001.

[16] 朱伯芳. 有限单元法原理与应用: 第 2 版[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1998.