



DOI:10.12404/j.issn.1671-1815.2408653

引用格式:徐世国,李峰,钟自成,等.煤矿井下钻机用窄体胶轮式底盘关键技术[J].科学技术与工程,2025,25(21):8833-8840.

Xu Shiguo, Li Feng, Zhong Zicheng, et al. Key technology of narrow body rubber tyre chassis for coal mine drilling rig[J]. Science Technology and Engineering, 2025, 25(21): 8833-8840.

矿冶工程

## 煤矿井下钻机用窄体胶轮式底盘关键技术

徐世国<sup>1</sup>, 李峰<sup>1</sup>, 钟自成<sup>2\*</sup>, 李栋<sup>2</sup>

(1. 国能神东煤炭地测公司, 鄂尔多斯 017000; 2. 中煤科工西安研究院(集团)有限公司, 西安 710077)

**摘要** 为满足具备无轨运输条件的煤矿钻探施工作业的快转快运的需要,采用无轨胶轮车集成钻机从地面直接行驶到钻场而无需二次转运,有效减少辅助运输人员并提升运输效率。通过对比整体式和铰接式底盘结构优缺点,根据实际井下巷道条件确定为窄体胶轮式底盘结构,并给出了整车设计关键性能参数。依据总体技术方案需求,对无轨胶轮车多项关键技术进行设计与分析,并对车架的行驶过程和施钻过程两种工况下的静承载能力和动态特性仿真分析,仿真结果表明:应力、位移均满足行走和施钻过程中车架承载能力的设计要求,且具有较好的稳定性。胶轮式底盘装调完成后,开展爬坡试验和全面性能测试,试验表明:整车满足15°大角度爬坡工况,各项数据符合标准规定要求,性能满足煤矿井下钻机的运输需求,能够适应煤矿井下复杂工况条件。

**关键词** 矿井辅助运输; 无轨胶轮车; 胶轮钻机; 有限元分析

**中图分类号** TD15;

**文献标志码** A

### Key Technology of Narrow Body Rubber Tyre Chassis for Coal Mine Drilling Rig

XU Shi-guo<sup>1</sup>, LI Feng<sup>1</sup>, ZHONG Zi-cheng<sup>2\*</sup>, LI Dong<sup>2</sup>

(1. Geological Survey Company, Shendong Coal, CHN Energy, Ordos 017000, China;

2. Xi'an Research Institute, China Coal Technology & Engineering Group, Xi'an 710077, China)

**[Abstract]** In order to meet the needs of fast and efficient transportation for coal mine drilling construction operations with trackless transportation conditions, a trackless rubber tyre vehicle integrated drilling rig was used to travel directly from the ground to the drilling site without the need for secondary transportation. By comparing the advantages and disadvantages of integral and articulated chassis structures, the narrow body rubber tyre chassis structure was determined based on actual underground tunnel conditions, and key performance parameters for the vehicle design were provided. By comparing the advantages and disadvantages of integral and articulated chassis structures, the narrow body rubber tyre chassis structure was determined based on actual underground tunnel conditions, and key performance parameters for the vehicle design were provided. Based on the overall technical requirements, multiple key technologies of the trackless rubber tyre vehicle were designed and analyzed, and the static load capacity and dynamic characteristics of the frame under two working conditions, namely the driving process and the drilling process, were simulated and analyzed. The simulation results show that the stress and displacement meet the design requirements of the frame load capacity during the walking and drilling processes, and it has good stability. After the installation and adjustment of the rubber wheel chassis, a climbing test and comprehensive performance test were carried out. The test shows that the whole vehicle meets the 15 ° large angle climbing condition, all data meet the standard requirements, and the performance meets the transportation needs of the coal mine drilling rig. It can adapt to the complex working conditions underground in coal mines.

**[Keywords]** mine auxiliary haulage; trackless vehicle; rubber tyre drilling rig; finite element analysis

煤矿井下钻机是实现瓦斯抽采、探放水、超前  
钻探等隐蔽致灾因素探查的重要技术装备,能够有

效保障煤矿井下安全生产作业<sup>[1-4]</sup>。目前常用煤矿  
井下坑道钻机采用履带行走机构,通过外接电缆提

收稿日期: 2024-11-20 修订日期: 2025-04-16

基金项目: 陕西省重点研发计划(2023-YBGY-340); 中国煤炭科工集团科技创新重点项目(2024-TD-ZD009)

第一作者: 徐世国(1985—),男,宁夏固原人,工程师。研究方向:地质勘探。E-mail:578984213@qq.com。

\*通信作者: 钟自成(1990—),男,陕西榆林人,硕士,助理研究员。研究方向:煤矿钻探技术与装备。E-mail:zhongzicheng@cctegxian.com。

投稿网址: www.stae.com.cn

供行走动力源,行走速度低( $\leq 2$  km/h),适用于井下短距离行走,同时钻机行走过程中除需要行走操作人员,还需配备多名工人对电缆进行拖拽搬移,工人劳动强度大,搬迁过程烦琐。而在钻机的长距离转运过程中,必须借助有轨运输平台、辅助运输车辆或其他转运设备进行,整个搬运过程中前期准备时间较长,严重限制煤矿企业高效生产<sup>[5]</sup>。

随着煤炭工业的高速发展,煤矿井下巷道环境大幅改善,巷道路面硬化占比高,完全具备无轨胶轮运输所需条件。多年以来,矿井规模、采煤速度、采煤工作面长度和采煤深度逐年提高,尤其是在以神东煤矿为代表的大型现代化矿井,采面长度已经普遍提高到了3 km,部分矿区工作面最大长度甚至达到了6 km。通过无轨胶轮车能够快速、便捷完成生产人员和材料的运输,极大提高煤矿安全生产效率和作业的安全性,是一种经济实用、安全高效的巷道运输设备<sup>[6-10]</sup>。

在面对履带式钻机无法适应无轨运输条件好的煤矿企业运输需求,为满足井下瓦斯、水害等治理的钻探施工作业的快探快转,减少辅助运输设备的需要,现采用无轨胶轮车集成钻机实现钻机从地面直接行驶到钻场而无需二次转运,运输速度快、运载能力强,有效减少辅助运输人员并提升运输效率,助力煤矿企业提质增效。因此,亟需开发一款煤矿井下钻机用窄体胶轮式底盘,实现煤矿井下长距离快速搬迁的目标。

## 1 技术需求

### 1.1 研究现状

目前,国内外胶轮式底盘种类丰富,根据车辆结构形式分为整体式和铰接式两种。同样尺寸下,车辆采用铰接式结构形式能够有效获取较小的转弯半径,但是在要实现相同功能的情况下,铰接式车辆整体尺寸,尤其车辆长度比整体式要大。同时采用铰接结构操控难度大,倒车等操作不够灵活,因此对驾驶员的操作要求高。另外铰接式车辆行驶过程中车辆震动较厉害,通常作为运料车型使用<sup>[11]</sup>。

整体式无轨胶轮车由于没有铰接部分,所以设计时可以省去铰接部分的空间,使得完成相同运载量的条件下,相对于铰接式无轨胶轮车的长度可以设计得更短,更方便驾驶员操纵车辆<sup>[12]</sup>。另外整体式车架和车身集成于一体设计,更有利于减轻车辆的自重,减少自重功率消耗,达到提升整车的动力性能、降低车辆油耗。整体式和铰接式胶轮车优缺点对比如表1所示。

表1 胶轮底盘结构形式优缺点

Table 1 Advantages and disadvantages of rubber tyre chassis structure

名称	优点	缺点
铰接式无轨胶轮车	转弯半径小,动力足,载重大,高度低	尺寸大,操控难度大,震动大
整体式无轨胶轮车	尺寸小,布局紧凑,易操控	转弯半径大,载重小,高度高

### 1.2 技术难题

国家能源集团神东煤炭集团公司保德煤矿无轨胶轮运输条件好,以其井下巷道条件进行无轨胶轮车基本性能指标设计。保德煤矿井下运输巷道最小平均宽度5 m,巷道最小高度3.5 m;顺槽巷道最小宽度4.5~5 m,最小高度为2.8~3.2 m,最大坡度14%。

煤矿井下钻机用胶轮车作为关键的运输设备及承载装置,要求具有尺寸小、承载量大、能够依靠自身动力行走等特点,满足在大型矿区快速的上下井运输和井下转场需求<sup>[13-15]</sup>,同时为适应较多巷道条件下的钻探施工,尤其是皮带巷的探放水 and 瓦斯抽采钻孔的施工,尺寸要求高,因此煤矿井下钻机用胶轮式底盘采用整体式结构形式,并将胶轮车底盘宽度设定为 $(1\ 600 \pm 50)$  mm。

目前市面上现有的整体式无轨胶轮车,虽然承载能力能够达到10 000 kg,但宽度都在1.8 m以上,而符合钻机用的胶轮底盘宽度在1.6 m以下的要求,最大承载能力仅有3 000 kg。因此针对现有胶轮设备在宽度和承载能力等方面存在的局限性,必须根据钻机的使用需求定制一款专用窄体胶轮式底盘。另外综合考虑胶轮式底盘与全液压履带钻机的优点,在钻机主机结构、调角装置、电机泵组、液控操纵台、油箱、泥浆泵等关键部件布局完成后,重点对胶轮底盘的承载能力、传动系统、悬挂系统等进行设计与分析。确定煤矿井下钻机用窄体胶轮式底盘关键性能参数,如表2所示。

表2 胶轮底盘关键性能参数

Table 2 Key performance parameters of rubber tyre chassis

名称	参数
宽度/mm	1 600 $\pm$ 50
最大行走速度(前进/后退)/(km·m <sup>-1</sup> )	前进:20 $\pm$ 1(高速),7 $\pm$ 1(低速);后退:7 $\pm$ 1
爬坡能力/(°)	15
最大牵引力/kN	$\geq 45$
最大静态制动力/kN	$\geq 72.5$
最小离地间隙/mm	190
紧急/驻车制动	安全失效型
驱动形式	后四轮驱动
转向方式	方向盘/液压转向油缸
行车制动	液压湿式制动

## 2 关键技术研究

### 2.1 总体技术方案

随着具备无轨胶轮运输条件的煤矿企业对胶轮钻机需求增大,亟需设计一种宽度窄、承载能力大、可满足钻机集成布局于胶轮行走底盘上部、实现钻机的快速转场的系统。整车基于《矿用防爆柴油机无轨胶轮车通用技术条件》(MT/T 989—2006)作为设计依据,形成窄体式整体车架结构,防爆柴油机、液力机械传动、后双桥驱动、钢板弹簧悬架等关键系统,并采用全液压制动和转向系统,以及稳固支腿双控制系统。

### 2.2 窄体胶轮式底盘整体结构设计

为满足煤矿巷道内专用无轨运输条件,同时提高搬移钻场时的良好通过性能,胶轮底盘须具备运输便捷、承载吨位大的特点,同时要有恶劣工作环境下的良好适应性。采用两根工字钢作为车架主梁,若干根横梁加固连接形成整体式钢梁焊接车架,额定载重量 10 000 kg,宽度 1 600 mm,主要由整体式钢梁车架、转向控制机构和动力机构组成。

车架前端布置有驾驶室、防爆柴油机动力总成、驱动单元总成和转向桥总成等行走关键结构部件,中后部布置电机泵组、油箱及泥浆泵单元等施钻关键结构部件,使车架单元空间极大合理化利用,ZDY3500JDK 胶轮式钻机,如图 1 所示。为避免施钻过程对车桥单元的损坏,中后部设计有稳固支腿对钻机进行支撑稳定,使胶轮离地并保护车桥单元,提高钻机施工安全性。另外主梁侧面设计有管线卡口用于管路和电缆的布设,提升其整体美观的同时,便于故障排查与检修。



图1 ZDY3500JDK 胶轮式钻机结构图

Fig. 1 Structural diagram of ZDY3500JDK rubber tyre drilling rig

### 2.3 动力传动系统设计

在传动系统匹配设计和关键零部件选型时,需要考虑多种因素,以确保传动系统具备足够的动力输出、良好的稳定性和可靠性、良好的操作性和可维护性。同时,还可以采用多种技术手段来提高传

动系统的性能,以用于提升胶轮底盘的行走能力及复杂巷道的良好通过性能<sup>[16-17]</sup>。

胶轮底盘的动力传动系统主要包括发动机、液力变矩器、驱动桥总成、轮胎、传动轴等,传动系统组成及传动顺序如图 2 所示。其工作原理为:发动机将动力先传递至液力变矩器,再由液力变矩器经传动轴 1 传递到变速器,然后再通过传动轴 2 传递到驱动桥 1,通过传动轴 3 传递到驱动桥 2,最后经驱动桥的减速器变速后传至车轮,从而驱动车辆行驶。该传动系统实现后侧四个车轮全驱动,具有传动系统简单可靠、驱动力大、对地比压小、通过性好等优点。另外轮胎选装充填式实心胎,承载能力大,不怕扎,抗耐磨,使用寿命较普通充气式轮胎显著提高。

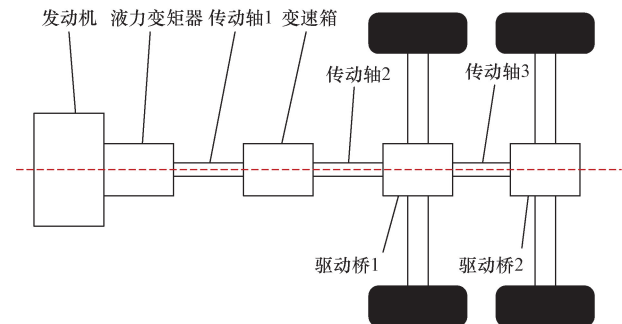


图2 液力机械传动系统原理图

Fig. 2 Double column and double turntable variable amplitude structure

防爆柴油机广泛应用于煤矿井下无轨胶轮运输车动力来源,是一种能够把其他形式的能转化为机械能的机器,主要技术参数包括功率、输出转矩、输出转速及缸径行程等。根据车辆的最大行驶速度以及低速时的最大爬坡度,由式(1)和式(2)可以计算出发动机的最大功率<sup>[18-19]</sup>,进而确定发动机的型号。

最大行驶速度时,发动机功率的计算公式为

$$P_k = \frac{WfV_a + C_D AV_a^3/21.15}{3\ 600\eta} \quad (1)$$

式(1)中: $W$ 为满载整车重量,N; $f$ 为滚动阻力系数,取 0.01; $V_a$ 为各挡车速,km/h; $C_D$ 为空气阻力系数,根据车辆迎风面积,取 0.51; $A$ 为车辆迎风面积,取 3.63; $\eta$ 为整车的机械效率,取 0.72。

低速最大爬坡度时,发动机功率的计算公式为

$$P_e = \frac{mg(f\cos\alpha + \sin\alpha)V_{\min}}{3\ 600\eta} \quad (2)$$

式(2)中: $V_{\min}$ 为最低行驶速,km/h; $\alpha$ 为坡道角度,(°)。

在煤矿井下作业中,无轨胶轮车采用液力机械传动的优势主要如下:①液力变矩器抗冲击振动能力强,能有效防止发动机过载;②能够根据速度需

要和负荷状况自动判断换挡时机并执行换挡过程,降低驾驶员操作的复杂程度;③动力换挡变速器的换挡次数和换挡动力中断的无效时间都显著少于机械变速器,更适应井下工况变化频繁的场所。

总之,煤矿井下钻机用胶轮车采用液力机械传动方式,能够获取良好的自动适应性能,保证发动机处于额定工况下工作,满足牵引力和运输工况的要求,避免发动机因外载荷突然增大而熄火;同时整车起动平稳,能够在较大的速度范围内实现无级变速,并吸收和减少震动及冲击,从而提高车辆的舒适性;此外,通过增加车辆与地面的附着力,以提高整车的通过性能。动力传动系统的主要技术参数如表3所示。

表3 动力传动系统的主要技术参数  
Table 3 Main technical parameters of the power transmission system

部件名称	主要技术参数
防爆柴油机额定功率/kW	105
防爆柴油机额定转速/(r·min <sup>-1</sup> )	2 200
防爆柴油机额定转矩/(N·m)	500
动力换挡变速箱传动比	$i_1 = 500; i_2 = 0.65$

## 2.4 双联悬挂系统设计

煤矿井下钻机用胶轮式底盘需具有载重能力大、宽度窄的特点,适应巷道地形复杂和施钻工作环境恶劣的工况,因此在悬挂系统的设计过程中,需要充分考虑钻机的工作需求和的工作环境,确保具有较好的承载能力、足够的强度及使用寿命、复杂地形的适应性和通过性<sup>[20]</sup>。

由于采用整体式胶轮底盘结构及须满足额定载重 10 t 的设计需求,钻机关键施钻机构布设于胶轮底盘后桥上部位置,后部承载能力需求大,同时整体式胶轮底盘为满足煤矿井下 15° 爬坡需求,保证整车行走时六轮着地,避免爬坡过程中存在翘头及下坡过程中存在拖地等问题。因此,胶轮式底盘的悬挂系统设计直接决定整机的稳定性、通过性和操控性。

采用双联驱动/制动桥并行结构设计,如图3所示,其设计思路为:采用平衡杆将后双联桥连接于两端,而将平衡杆中部与车架作铰链式连接,当一个车桥抬高将使另一个车桥降低,而且由于平衡杆两臂等长,两个车桥的垂直载荷在任何情况下都相等,不会产生个别车轮悬空的情况。同时平衡悬架配备钢板弹簧,能够更好适应路面起伏工况,并改善车轮的附着条件,增强牵引力和工作稳定性,最终使双联驱动/制动桥具备桥间补偿功能、驱动/制动功能、轮间差速及锁止功能。

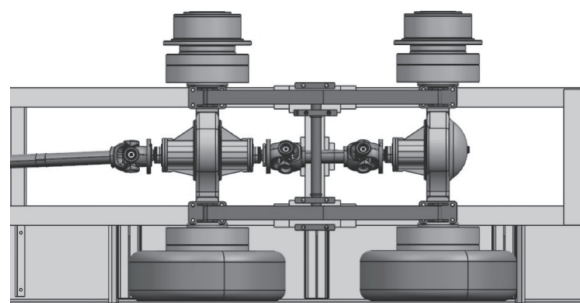


图3 双联驱动/制动桥  
Fig. 3 Dual drive/brake axle

## 2.5 防爆电气系统设计

胶轮车的防爆电气系统设计需结合煤矿井下巷道使用要求,同时为提高行驶安全性和驾乘体验的目的,将防爆电气系统设计包括信号采集系统、控制系统、显示系统及自动保护系统等;此外根据煤矿井下防爆要求,对系统所需元器件进行选型。信号采集系统主要用于倒车提醒及倒车影像采集;控制系统主要用于控制转向、照明、刹车等;显示系统可以显示机油压力、温度(发动机、尾气、冷却水)、液位(水箱、油箱)、转速、行驶里程及爆炸气体含量等;自动保护系统可显示电源、各保护/报警信号提示,并配备蜂鸣器。当监测相关参数出现异常情况时,自动保护系统能够及时发出声光报警信号,并在报警后即时将发动机自动熄火。防爆电气系统组成如图4所示。

## 3 窄体胶轮底盘车架仿真分析

### 3.1 静承载能力仿真分析

为确定窄体胶轮底盘的承载能力,通过静力学分析施加额定载重情况下,获取行走和施钻过程中底盘的应力和位移变形。底盘主要采用 16Mn 材料,因此密度设置为 7 870 kg/m<sup>3</sup>,弹性模量和泊松比分别设置为 212 GPa 和 0.310;选用 Tet 单元类型和 C3D4 线性四面体单元进行网格划分<sup>[21-22]</sup>。

为缩短分析计算时间,对模型进行了简化,忽略对分析结果没有影响的工艺圆角、螺栓孔、护板等,将整机忽略的驾驶室、主机、油箱、操纵台、电磁启动器等质量添加到车架上,其中驾驶室与车架连接处施加 3 000 kg 的质量,后部施加 8 000 kg 的质量。行走过程中 3 轴驱动桥承载车架全部重量,因此将车架与驱动桥连接处设为固支条件;施钻过程中通过运行稳固支腿,使得 6 轮离地,避免施钻过程对轮胎的损坏,因此将稳固支腿与车架连接处设为固支条件。

胶轮车行走过程的应力云图和位移云图显示结果如图5所示,施钻过程的应力云图和位移云图显示结果如图6所示。

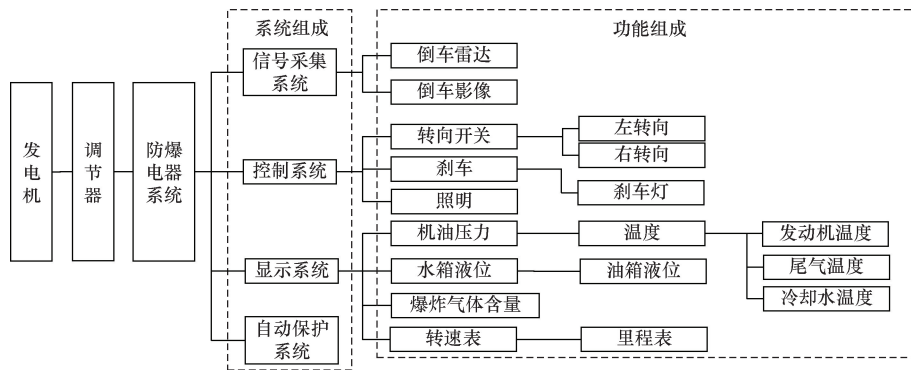


图4 防爆电气系统组成图

Fig. 4 Composition of explosion-proof electrical system

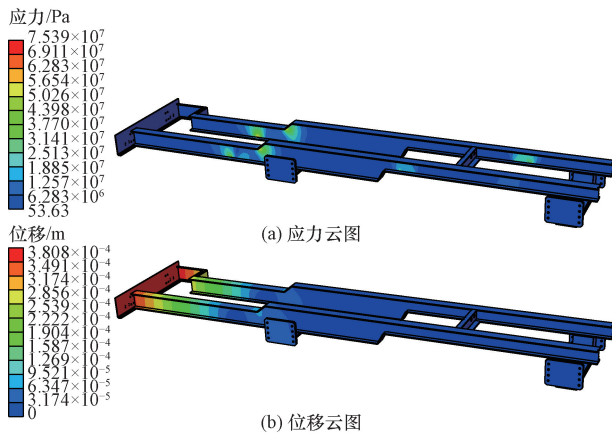


图5 行走过程车架静载结果

Fig. 5 Static load results of vehicle frame during walking process

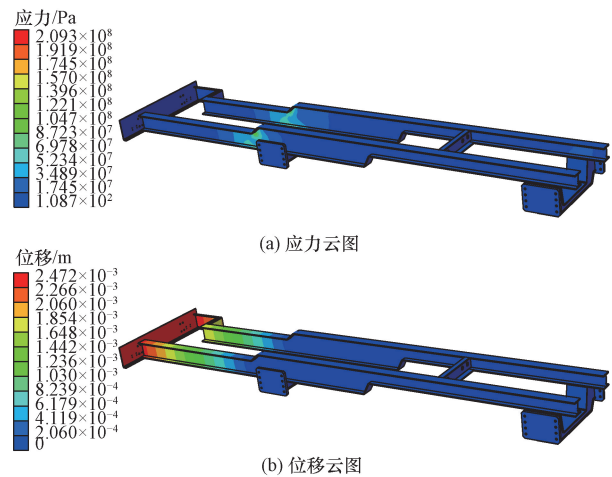


图6 施钻过程车架静载结果

Fig. 6 Static load results of vehicle frame during drilling process

如图5所示,由胶轮车行走过程车架静载结果应力云图可知,其整体受力良好,最大应力为75.39 MPa,远小于16Mn材料的屈服强度;由车架位移云图可知,最大位移为0.3808 mm,最大应力和最大位移均出现在驾驶室后部安装的斜面处,仿真结果表明,应力、位移变形均满足行走过程中车架承载

能力的设计要求。

如图6所示,由胶轮车施钻过程车架静载结果应力云图可知,其整体受力良好,最大应力为209.3 MPa,远小于16Mn材料的屈服强度;由车架位移云图可知,最大位移为2.472 mm,最大应力和最大位移均出现在驾驶室后部安装的斜面处,仿真结果表明,应力、位移变形均满足施钻过程中车架承载能力的设计要求。

### 3.2 动态特性仿真分析

为获取窄体胶轮底盘的动态特性,分别对行走和施钻过程中底盘进行模态分析,通过分析得出的结构固有频率及各阶模态振型,以此确定结构的振动特性。在分析步中选择线性涉动分析步和频率分析,特征求解器选择Lanczos,选取前6阶模态进行分析<sup>[23]</sup>。行走过程设为行走方向自由,其他方向约束的边界条件,而施钻过程边界条件设为稳固支腿与车架连接处设为固支条件,主机与车架连接处设为给进/起拔、回转方向自由,其他方向约束的边界条件。

模态分析前6阶固有频率如表4所示,对应模态振型如图7所示。

表4 车架各阶模态固有振动频率

Table 4 Natural vibration frequency of each mode of vehicle frame

阶数	行走过程		施钻过程	
	频率/Hz	振型	频率/Hz	振型
1	0.0023	车架前后扭转	63.65	前部绕前横梁向上弯曲
2	85.58	前横梁左右弯曲	107.97	前横梁向右弯曲
3	97.65	前、后横梁左右弯曲	156.02	前挡板向内弯曲
4	137.79	前部绕前横梁向上弯曲	190.85	前挡板向内弯曲
5	150.55	前部绕前横梁左右弯曲	207.18	横梁与2轴之间向左弯曲
6	157.13	前挡板向内弯曲	213.05	横梁与2轴之间向内弯曲

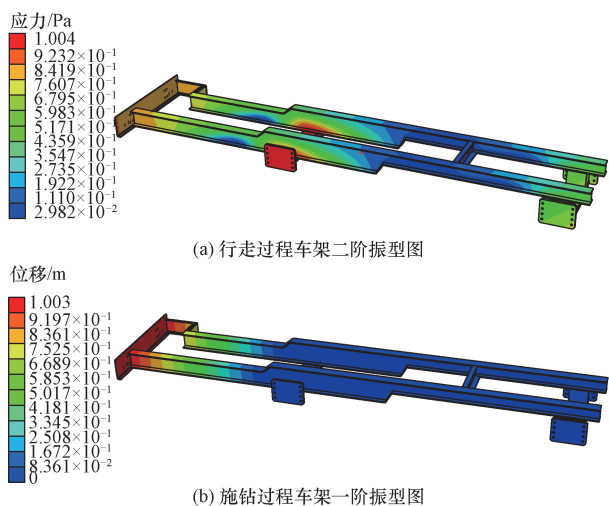


图7 车架模态振型

Fig. 7 Modal vibration mode of vehicle frame

由表4的前6阶固有频率和模态振型(图7)可知,行走过程中车架一阶模态固有频率为  $2.105 \times 10^{-3}$  Hz,频率较小,接近于0,因此忽略不计。2~6阶模态的固有频率为85.58~157.13 Hz,而由路面不平导致的激振频率为0.5~25 Hz,因此胶轮车行走过程中车架动态特性良好,同时底盘采用悬挂系统等设计,能够进一步提高整体动态特性,以及驾驶过程的舒适性。

施钻过程中根据钻机转速计算,激振频率一般在10 Hz以下,同时还要承受电机等内部激励源的激励,激振频率24.67 Hz。而1~6阶模态的固有频率为63.65~213.05 Hz,远大于钻机施钻过程的激振频率。因此,施钻过程中车架整体动态特性良好,满足施钻作业底盘稳定的需要。

#### 4 性能测试试验

煤矿井下钻机用胶轮式底盘装调完成后,将钻机部分上装进行安装,并使用等重量的物体放置在车架上,保证胶轮式钻机要求的承载力,最后分别在坡度为8°、11°和15°的情况下进行了爬坡试验,胶轮车15°爬坡试验如图8所示。试验表明:爬坡过程中所有轮胎都与地面接触,后悬及离地间隙设计合理,不存在蹭地现象,并在双联桥作用下,整车满足15°大角度爬坡工况。

基于《矿用防爆柴油机无轨胶轮车通用技术条件》(MT/T 989—2006)、《机动车运行安全技术条件》(GB 7258—2017)和《矿用产品安全标志审核发放实施规则 防爆柴油机无轨胶轮车》(ABGZ-MA-CGB-2017-01)的相关要求作为检验依据,分别对产品的结构尺寸、操纵性能、制动性能、传动性能等进行全方面性能检验。另外结合防爆电气系统功能

特性要求,从照明、信号、自动保护等方面进行全面性能测试。胶轮车部分测试数据如表5所示。胶轮车性能测试试验表明,整车结构紧凑、动力性好,各项数据符合标准规定要求,性能满足煤矿井下钻机的运输需求,能够适应煤矿井下复杂工况条件。



图8 胶轮车15°爬坡试验

Fig. 8 15° hill climbing test of rubber tyre vehicle

表5 胶轮车性能测试结果

Table 5 Performance test results of rubber tyre vehicles

名称	技术要求	检验结果
宽度/mm	1 600 ± 50	1 610
最大行走速度 (前进/后退)/ (km·h <sup>-1</sup> )	前进:(20 ± 1)(高速),(7 ± 1) (低速)后退:(7 ± 1)	前进:1档(6.7), 2档(19.7); 后退:6.7
最大牵引力/kN	≥45	63.37
最大静态 制动力/kN	≥72.5	87.48
紧急/驻车制动	安全失效型	制动距离:2.63 m
行车制动	液压湿式制动	制动距离:2.10 m

#### 5 结论

(1)针对煤矿井下巷道条件开发的窄体胶轮式底盘,具有尺寸小、承载量大、能够依靠自身动力行走等特点,满足在大型矿区快速的上下井运输和井下转场需求,适应复杂巷道条件下的钻探施工,尤其是皮带巷的探放水 and 瓦斯抽采钻孔的施工。

(2)针对煤矿井下钻机用胶轮式底盘关键技术研究,解决了窄体和承载两方面技术难题,实现无轨胶轮车的整体结构、动力传动系统、后双联悬挂系统、防爆电气系统、液压系统等关键结构与系统设计。

(3)通过对行驶和施钻过程中,车架的两种工况下的静承载能力和动态特性仿真分析,仿真结果表明:车架整体受力良好,应力、位移变形均满足承载能力的设计要求,且具有较好的稳定性。

(4)根据爬坡试验,验证了 $15^{\circ}$ 大角度爬坡工况适应性,并通过全方面性能检验,验证了产品的结构尺寸、操纵性能、制动性能、传动性能等,整车结构紧凑、动力性好,为煤矿井下钻机的快转快运提供了可靠的无轨运输装备保障。

### 参 考 文 献

- [1] 石智军,姚克,姚宁平,等.我国煤矿井下坑道钻探技术装备40年发展与展望[J].煤炭科学技术,2020,48(4):1-34.  
Shi Zhijun, Yao Ke, Yao Ningping, et al. 40 years of development and prospect on underground coal mine tunnel drilling technology and equipment in China[J]. Coal Science and Technology, 2020, 48(4): 1-34.
- [2] 李泉新,许超,刘建林,等.煤矿井下全域化瓦斯抽采定向钻进关键技术与工程实践[J].煤炭学报,2022,47(8):3108-3116.  
Li Quanxin, Xu Chao, Liu Jianlin, et al. Key technology and practice of directional drilling for gas drainage in all the mining time and space in underground coal mine[J]. Journal of China Coal Society, 2022, 47(8): 3108-3116.
- [3] 李泉新,姚克,方俊,等.煤矿井下瓦斯高效精准抽采定向钻进技术与装备[J].煤炭科学技术,2023,51(S1):65-72.  
Li Quanxin, Yao Ke, Fang Jun, et al. Directional drilling technology and equipment for efficient and accurate gas drainage underground coal mine[J]. Coal Science and Technology, 2023, 51(S1): 65-72.
- [4] 张幼振,刘若君,姚克,等.煤矿坑道钻机状态监测与故障诊断技术研究现状及展望[J].科学技术与工程,2023,23(7):2683-2693.  
Zhang Youzhen, Liu Ruojun, Yao Ke, et al. Research status and development of condition monitoring and fault diagnosis of coal mine tunnel drilling rig[J]. Science Technology and Engineering, 2023, 23(7): 2683-2693.
- [5] 陈逢雷,孟瑞,徐鹏搏,等.胶轮式全液压钻机在布尔台煤矿的应用[J].煤矿安全,2020,51(1):138-140.  
Chen Fenglei, Meng Rui, Xu Pengbo, et al. Application of rubber-wheeled full hydraulic rig in Buertai coal mine[J]. Safety in Coal Mines, 2020, 51(1): 138-140.
- [6] 侯刚,王国法,薛忠新,等.煤矿辅助运输自动驾驶关键技术与装备[J].采矿与岩层控制工程学报,2022,4(3):5-17.  
Hou Gang, Wang Guofa, Xue Zhongxin, et al. Key technologies and equipment for automatic driving of coal mine auxiliary transportation[J]. Journal of Mining and Strata Control Engineering, 2022, 4(3): 5-17.
- [7] 申阳,朱浩,许广秦,等.基于近似模型的蓄电池工程车电池布局优化[J].科学技术与工程,2024,24(26):11263-11270.  
Shen Yang, Zhu Hao, Xu Guangqin, et al. Battery layout optimization of the battery engineering vehicles based on an approximate model[J]. Science Technology and Engineering, 2024, 24(26): 11263-11270.
- [8] 贺海涛,宋德军,赵海兴.煤矿辅助运输防爆车辆电动化和数智化的应用研究[J].煤炭工程,2024,56(2):219-224.  
He Haitao, Song Dejun, Zhao Haixing. Application of electrification and digital intelligence of explosion proof vehicles for coal mine auxiliary transportation[J]. Coal Engineering, 2024, 56(2): 219-224.
- [9] 鲍久圣,章全利,葛世荣,等.煤矿井下无人化辅助运输系统关键基础研究及应用实践[J].煤炭学报,2023,48(2):1085-1098.  
Bao Jiusheng, Zhang Quanli, Ge Shirong, et al. Basic research and application practice of unmanned auxiliary transportation system in coal mine[J]. Journal of China Coal Society, 2023, 48(2): 1085-1098.
- [10] 许联航.矿用防爆锂离子蓄电池无轨胶轮车液压系统设计[J].煤炭科学技术,2022,50(S2):315-319.  
Xu Lianhang. Hydraulic system design of explosion proof lithium-ion battery trackless rubber tyred vehicle[J]. Coal Science and Technology, 2022, 50(S2): 315-319.
- [11] 谷丽东,张奕.井下防爆无轨胶轮车悬架系统的仿真及优化[J].煤炭工程,2023,55(S1):243-247.  
Gu Lidong, Zhang Yi. Simulation and optimization of suspension system for mine explosion-proof trackless rubber-tyred vehicle[J]. Coal Engineering, 2023, 55(S1): 243-247.
- [12] 李智伟.防爆车辆新型液压制动系统的设计与优化[J].煤炭技术,2021,40(8):208-210.  
Li Zhiwei. Design and optimization of new hydraulic braking system for mining vehicle[J]. Coal Technology, 2021, 40(8): 208-210.
- [13] 陈逢雷.煤矿井下多用途窄体式无轨胶轮平台[J].煤矿安全,2020,51(3):104-106,110.  
Chen Fenglei. Multipurpose and narrow-body trackless rubber wheel platform in coal mine[J]. Safety in Coal Mines, 2020, 51(3): 104-106, 110.
- [14] 陈逢雷,姚克,方鹏,等.ZDY3500JD型煤矿用胶轮式全液压钻机的研制[J].煤矿机械,2019,40(10):104-106.  
Chen Fenglei, Yao Ke, Fang Peng, et al. Research on ZDY3500JD rubber-wheeled full hydraulic rig in coal mine[J]. Coal Mine Machinery, 2019, 40(10): 104-106.
- [15] 赵泉,陈元朋,徐鹏搏,等.胶轮式定向钻机在煤矿探放水钻孔施工中的应用[J].煤矿机械,2024,45(10):145-148.  
Zhao Quan, Chen Yuanpeng, Xu Pengbo, et al. Application of rubber-wheel directional drilling rig on water exploration and drainage drilling construction in coal mine[J]. Coal Mine Machinery, 2024, 45(10): 145-148.
- [16] 王仁群,李海霞,李清德.WC1E型防爆无轨胶轮车的设计[J].汽车实用技术,2023,48(3):64-69.  
Wang Renqun, Li Haixia, Li Qingde. The overall design of WC1E type explosion-proof trackless rubber tyred vehicle[J]. Automobile Applied Technology, 2023, 48(3): 64-69.
- [17] 赵升吨,陈逢雷,王松,等.胶轮式钻机闭式行走液压系统故障分析及排除[J].煤矿机械,2020,41(1):171-173.  
Zhao Shengdun, Chen Fenglei, Wang Song, et al. Analysis and elimination of fault of closed travel hydraulic system for rubber-tyred drilling rig[J]. Coal Mine Machinery, 2020, 41(1): 171-173.
- [18] 王庆祥.煤矿大吨位防爆胶轮车液力传动系统匹配与参数优化[J].煤矿机电,2023,44(2):5-9.  
Wang Qingxiang. Matching and parameter optimization of hydraulic transmission system for large tonnage explosion-proof rubber wheel vehicles in coal mines[J]. Colliery Mechanical & Electrical

- Technology, 2023, 44(2): 5-9.
- [19] 赵海兴. 物料换装运输无轨胶轮车设计及应用[J]. 煤炭工程, 2022, 54(4): 187-192.  
Zhao Haixing. Design and application of trackless rubber-tyred vehicle for material reloading and transshipment[J]. Coal Engineering, 2022, 54(4): 187-192.
- [20] 王鹏飞, 杜忠华, 马祥, 等. 车辆主动悬架二次型最优控制器权矩阵参数优化[J]. 科学技术与工程, 2020, 20(13): 5383-5389.  
Wang Pengfei, Du Zhonghua, Ma Xiang, et al. Parameter optimization of weight matrices for linear quadratic regulator of vehicle active suspension [J]. Science Technology and Engineering, 2020, 20(13): 5383-5389.
- [21] 李成, 钟继卫, 王亚飞, 等. 连续梁桥车辆动态称重系数解析与试验验证[J]. 科学技术与工程, 2024, 24(5): 2060-2066.  
Li Cheng, Zhong Jiwei, Wang Yafei, et al. Analysis and experimental verification of vehicle weighting coefficients for continuous beam[J]. Science Technology and Engineering, 2024, 24(5): 2060-2066.
- [22] 钟自成, 张幼振, 刘焱杰, 等. 双楔形刀具侵入岩体过程仿真[J]. 科学技术与工程, 2021, 21(32): 13823-13827.  
Zhong Zicheng, Zhang Youzhen, Liu Yanjie, et al. Simulation of rock intrusion process with double wedge cutters [J]. Science Technology and Engineering, 2021, 21(32): 13823-13827.
- [23] 钟自成, 李旺年, 阚志涛, 等. 钻机多变幅机构瞬时动态响应衰减特性研究[J]. 机械设计, 2020, 37(6): 102-106.  
Zhong Zicheng, Li Wangnian, Kan Zhitao, et al. Study on the attenuation characteristics of instantaneous and dynamic response of the drilling rig's multi-luffing mechanism[J]. Journal of Mechine Design, 2020, 37(6): 102-106.