

轻量化新能源桥梁检修车

孙志敏

中铁重工有限公司 湖北 武汉 430063

摘要: 大跨度钢结构桥梁的检修与维护越来越多地使用下挂式桥梁检修车, 针对现有桥梁检修车自重较大、采用传统能源作为动力的现状, 设计一种轻量化新能源桥梁检修车。文中介绍了轻量化新能源桥梁检修车的主要结构及整体布置形式, 对桁架梁总成、固定式和活动式走行门架、动力系统及行走同步控制等作了详细介绍, 并对桁架梁总成进行了有限元分析。

关键词: 桥梁检修车; 轻量化; 新能源; 同步控制

我国钢结构桥梁建设飞速发展的同时在役桥梁出现涂层劣化、钢板锈蚀、焊缝开裂等病害, 导致耐久性降低、使用寿命缩短、维护成本过高等问题, 从而加强桥梁运营期养护管理已成为钢结构桥梁亟待解决的问题。^[1]随之, 作为桥梁日常维护及检修的专用桥梁检修车也得到了快速发展, 悬挂式桥梁检修车作为固有设备放置于桥梁下, 在桥梁底部架设轨道, 将其安装在梁底轨道上, 使用时通过动力驱动桥梁检修车沿梁底轨道上行走, 具有稳定性好、承载力大等特点。^[2]针对现有桥梁检修车自重较大、采用传统能源作为动力的现状, 中铁重工有限公司设计了一种轻量化新能源桥梁检修车, 用于大跨度钢结构桥梁的检修与维护。

1 主要技术指标

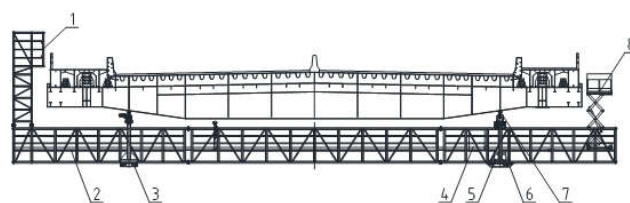
主要技术指标如下:

设计荷载	1000kg
驱动模式	4/8, 钢轮
动力源	锂电池
走行速度	1-10m/min
走行电机功率	4×1.1kw
爬坡能力	5%
跨度	22.4m
桁架材质	铝合金6061 T6
电池容量	28.8kw·h
作业平台	电动移动式升降平台
运行轨道型号	工字钢32b

2 桥梁检修车的总体设计

轻量化新能源桥梁检修车主要由人梯、桁架梁总成、固定端/活动端走行门架、电气系统、动力系统、升降平台、轨道总成等组成。桁架梁总成从走行门架的中部穿过, 并由走行门架承托悬挂在梁底轨道上, 依靠走行门架上的运行小车在轨道上行走。桁架梁总成与走行

门架采用一刚一柔连接方式。人梯安装在桁架梁总成一侧, 工作人员通过人梯进入桥梁检修车, 移动式升降平台可实现检修工作的全覆盖。其结构如图1所示。



1、人梯 2、桁架梁总成 3、固定端走行门架 4、电气系统 5、动力系统 6、活动端走行门架 7、轨道总成 8、升降平台

图1 轻量化新能源桥梁检修车

桥梁检修车采用悬挂式安装方法悬挂在梁底平行轨道上, 可实现对全桥的检修与维护, 设置有专用轨道且随桥永久使用, 作业期间不干扰交通、检查范围全面。该设备主要有以下优点:

2.1 采用锂电池供电, 替代传统动力型式, 给整车行走、升降平台、照明等工作装置提供清洁动力, 具有绿色环保的特点。

由于桥梁检修车的行驶距离长, 对比汽柴油发电机、安全滑触线及锂电池供电方式, 相比较来说, 锂电池供电方式拥有操控性好、安全性能高、供电稳定、维护保养简单、不产生噪声和有害气体等优点, 符合未来能源发展趋势。

2.2 桁架梁总成采用轻质自防腐材料, 实现了设备的轻量化, 避免了现场防腐涂装对空气造成的污染。

桁架梁总成是桥梁检修车主要部件, 重量占比在70%以上, 采用轻质材料, 降低自重, 从而减少了对桥梁的载荷, 降低了走行功率。目前, 桁架梁总成普遍使用防腐涂料涂装防腐, 间隔几年需要重新涂装。采用自防腐材料, 免于防腐涂装, 避免了涂料对空气的污染。

2.3 采用交流变频电机技术,实现无极调速,减少冲击,且更加节能。运用现代控制系统,实现行走同步控制,运行更加顺畅。

传统桥梁检修车的走行驱动为定频电机或双速电机,启动和停止时冲击大,速度不可调,不节能,当左右轨道不同步时容易跑偏或卡死。运用现代控制系统,可以实现两侧同步行走控制,减少运行冲击,使桥梁检修车运行更加顺畅、平稳。

2.4 具有多重保护措施:停电自动刹车、防脱轨措施等。

2.5 走行门架采用一刚一柔设计,当左右不同步时,减轻结构受力。

3 主要部件研究与设计

3.1 桁架梁总成

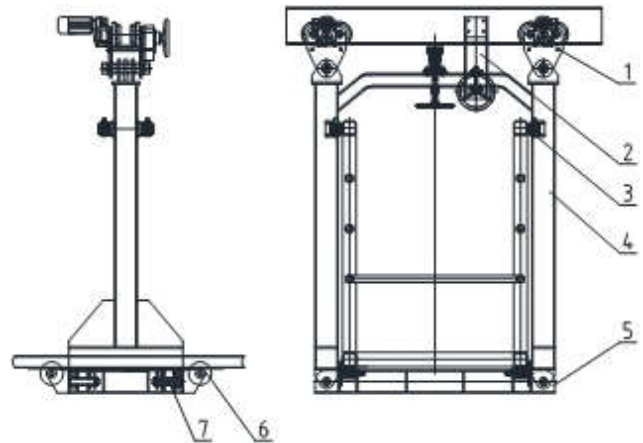
桁架梁总成由3个节段组成,节段之间在现场采用栓接方式连接。每个节段主型材采用80×80×5方管支撑,辅型材采用40×40×4方管。采用两层平台结构,上层为工作平台,铺有花纹钢板,下层为结构加强平台。

桁架梁总成的金属材料采用高强度铝合金6061 T6,该种材料密度约为普通碳钢的三分之一,而屈服强度接近普通碳钢,在满足强度要求的条件下桁架梁总成重量约为普通碳钢的二分之一。该材料的使用,有效降低了桥梁检修车的自重,实现了整机的轻量化。此外,铝合金6061 T6具有良好的防腐性能,自身维护过程中不需要涂装防腐材料,减少了涂装对空气的污染,有利于环境保护。

3.2 走行门架

走行门架是桥梁检修车的走行驱动机构,分固定端走行门架和活动端走行门架两种,固定端走行门架与桁架梁总成间为螺栓固接型式,主要由运行小车、锁定机构、垫板、门架、底座、底座销轴等组成。活动端走行门架与桁架梁总成间为活动型式,桁架梁总成可以沿纵向移动,从而减小桁架结构受力。活动端走行门架主要由运行小车、锁定机构、导向轮组、门架、底座、托轮组、底座销轴等组成。底座与门架采用销轴连接,安装桁架梁总成时,拨出一侧销轴,底座旋转打开,桁架梁提起从底部进入门架,再将底座旋转关闭,插入销轴,完成桁架梁的安装。

两件走行门架有2组运行小车,每个运行小车分别有1组主动轮和1组从动轮,每组走行轮都有2个钢轮。整机共4组主动轮,4组从动轮。主动轮由带制动器的电机驱动,而从动轮安装有手动驱动装置。当电池没电或电气故障时,可利用手动驱动装置驱动桥检车回到停车位。



1、运行小车 2、锁定机构 3、垫板/导向轮组 4、门架 5、底座 6、托轮组 7、底座销轴

图2 固定端/活动端走行门架简图

为了保证作业安全,桥梁检修车有两种制动,一种为电机自带制动,另一种为锁定机构制动。锁定机构包括夹轨器和手制动装置,锁定时,先用夹轨器的夹轨钳夹住工字钢轨道腹板,形成第一道锁定,再用手制动装置顶紧工字钢轨道下翼缘板下平面,形成第二道锁定。当运行小车意外脱离轨道时,夹轨器的夹轨钳会挂住工字钢轨道下翼缘板,起到防止整车掉落的作用。

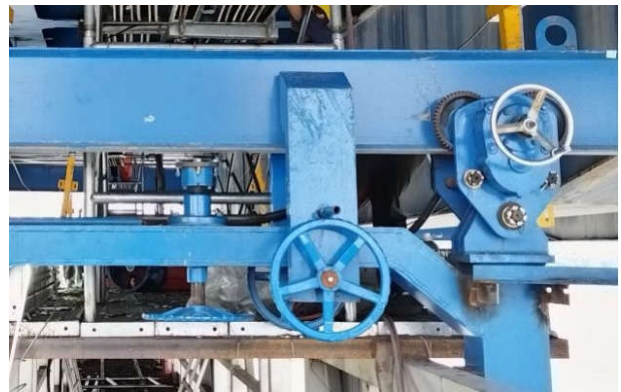


图3 锁定机构实物图

3.3 动力系统

桥梁检修车采用锂电池供电,单体电池标称电压为3.2V,单体容量为50Ah,采用180串联连接方式,电池常态输出直流电压576V,容量为28.8KWh。在平均输出功率3Kw的工况等下可以连续工作8小时。桥梁检修车停放处设配套充电桩,充电桩输出功率可调,最大输出功率为30Kw,控制系统监测到电量低于30%时,会发出报警提示操作人员返回停放处充电,当监测到电量低于15%时,会发出报警并停止设备动作,此时设备只能向停靠点方向移动。整车控制系统通过变频器将直流电压转换为可变频的380V交流电压直接为运行小车电机、移动升

降平台等三相用电设备供电。变频器的直流母线输入电压范围为450V-750V之间,该范围涵盖了电池的电压波动范围,保证设备不会因为电池电量所导致的电压变化而出现运行故障,车上还配备开关电源,可将480V-780V直流电压转换为24V电压,为设备控制系统及照明供电。

3.4 行走同步控制系统

电气控制系统采用PLC控制,两侧走行系统分别通过两台变频器驱动,以对两侧速度分别进行控制。在桥梁四周安装四台基准测位基站,在桥梁检修车两端各安装一台定位信标,通过基站监测桥梁检修车两侧位置信息。两侧车轮处各安装一个增量型编码器,用来监测两侧实时行走速度。

系统根据两台信标位置坐标,计算桥梁检修车两侧的实时距离,其中A、B点为两侧实际坐标点,B'为A点对应的B点期望坐标,系统通过AB两点坐标信息,计算出AB两点间的实际距离。而A与B'之间距离即为跨度。通过对比可知AB、AB'之间的距离差距与桥梁检修车偏转角度之间呈正向关系。依据AB与AB'差值控制桥梁检修车两侧行走的速度,使之在行走过程中保持与桥体的平行状态,减少运行的不同步。控制整体采用双闭环模式,首先通过AB与AB'之间差值对两侧行走速度进行闭环控制,其闭环输入值为0,回馈值为AB与AB'之间差值。再通过期望行走速度对变频器输出频率进行第二层闭环控制,其闭环输入值为上层闭环模式中输出的期望速度,回馈值为电机末端安装的增量型编码器所检测的实际速度值。

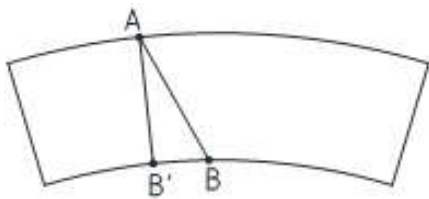


图4 行走同步控制示意图

4 桁架梁总成有限元分析

采用有限元分析软件Midas Civil,按照《铝合金结构设计规范》(GB 50429-2007)^[3]的要求,从强度、刚度两个方面进行计算。铝合金6061 T6抗拉、抗压和抗弯强度设计值 f 为200MPa,焊件热影响区抗拉、抗压和抗弯强度设计值 f_w 为100MPa。主桁架跨中部分不设对接焊接接头,但出于安全考虑,仍取许用强度设计值为100MPa。

在额定荷载工况,桁架梁总成的最大竖向位移为17.7mm,见图5,最大竖向位移 $17.7\text{mm} \leq L/500 = 44.8\text{mm}$,符合标准要求。

桁架梁总成的应力云图见图6。最大应力位于桁架跨中位置处,其值为85MPa,小于许用屈服强度值,桁架梁结构强度符合标准要求。

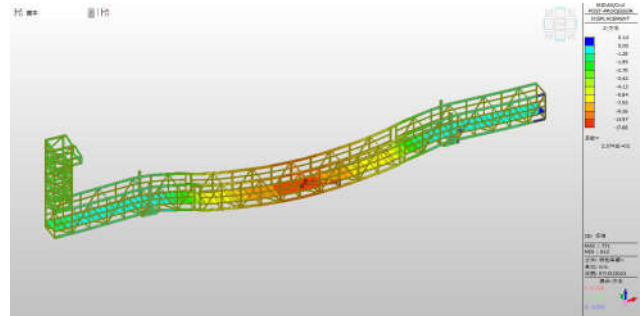


图5 桁架梁总成位移云图

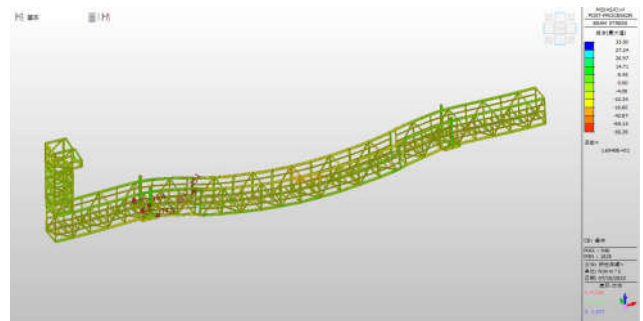


图6 桁架梁总成应力云图

5 总结

轻量化新能源桥梁检修车具有以下几个方面的特点:一是环保动力系统的运用,消除汽油或柴油发电机噪声污染和对空气的污染;二是自重大大减轻,达到减轻对桥梁负重,减少能源消耗的目的;三是结构自身防腐,减少涂装对空气的污染;四是同步行走控制的运用,达到运行平稳可靠的目的。

该设备的研制,不但可以提升钢结构桥梁维修行业技术水平,还可以实现节能减排,减少对环境的污染,对绿色建造关键技术桥梁设备上的使用起到示范作用,具有重要的经济效益和社会效益。轻量化新能源桥梁检修车已成功应用于武汉二环线长丰桥,在长丰桥的旧桥改造中提前使用,该设备各项性能指标满足使用要求。

参考文献

- [1]祝龙.大跨径钢桥钢箱梁锈蚀病害分析及养护措施[J].北方交通,2021,07:4-7.
- [2]李志强、王庆晖.悬挂式桥梁检修车供电方式选择[J].技术与交流,2022:43-46.
- [3]铝合金结构设计规范:GB 50429-2007[S].北京:中国标准出版社,2007.