

可搭载智能检测设备的轨道交通单轨自动走行装置研制

赵宝鹏 李嘉楠 谢霄

(四川交通职业技术学院 四川 成都 611130)

摘要: 随着城市轨道交通线路的建设,安全运维的压力逐渐增大,而线路巡检是其中最重要的检查项目之一。目前运维天窗时间短,作业量大,因此线路巡检效率急需提升。本文针对目前线路巡检设备工作效率低且设备沉重等问题,提出一种可搭载智能检测设备的轨道交通单轨自动走行装置的设计方案,包括总体结构、设计特点和工作原理。该装置具有作业效率高、巡检速度快、轻量化等特点,解决了当前线路巡检存在的问题。

关键词: 线路巡检;智能检测;单轨;自动走行装置

1 研究背景

近年来,随着轨道交通线路建设里程增加,城市轨道交通工务维修的需求也大大增加。城市轨道交通工务维修由于其线路长度不长、日常运营天窗时间短、站间距小等特点,渐渐发展出“预防为主、防治结合、修养并重”^[1]的工务维修原则,通过对工务设备的多层次日常巡检和定期检测,掌握线路设备状态变化规律,以“状态修”原理为依据,采用临时补修、经常维修、综合维修等手段,对工务设备病害进行有效预防和整治,有计划地补偿线路设备损耗,以取得良好的经济效益。

线路及轨道的巡检工作是保证行车安全的重要环节,交通运输部2019年8月2日印发、2019年11月1日起正式实施的《城市轨道交通设施设备运行维护管理办法》^[2]中明确提出,运营单位应定期组织对轨道进行巡查和监测工作,且轨道巡查频率不应低于1次/周,对轨距、水平、高低、三角坑等轨道静态几何尺寸的监测频率不应低于1次/3月,定期对轨道动态几何尺寸、车体垂直振动加速度和横向振动加速度等进行监测。为了及时掌握线路设备及钢轨的状况,保证行车环境的安全,通常采取自主巡道方式。当前城市轨道交通线路巡检有两种方式:月检和日检。月检主要由大型工程检测车每个月实施一次全线路缺陷检测,搭载智能检测装备设施。日检主要由巡检工人每天对地铁站-站间的线路进行巡视,自动化程度低。随着国内各地铁路线路向郊区延伸,站-站间的线路延长,巡检天窗时间不变,导

致当前人工巡检的压力增大。为解决人工巡检的相关问题,急需一种轻便快速的智能化巡检设备。

国外智能巡检装置的研发起步较早,技术相对成熟,已进入实用化阶段。日本大阪大学设计研制的一款蛇形智能检测装置,其身体顶部载有微型监视器,其余部位安装传感器,能在崎岖地形下行进,执行侦察搜救工作。美国iRobot公司设计研制的履带式智能走行装置,整体体积、质量都比较小,可以背负在工作人员身后。其采用前后双履带式行走机构,前摆履带能够辅助机器人越过高于自身的障碍物,可以适应高低不平的地形条件,越障能力比较强。该装置搭载多种传感器并且配有一个可以升降转向的云台,能够探测的视野比较开阔,减少了监视死角,用途比较广泛。随着智能化技术的发展,国内智能巡检装置在各个行业领域的应用较为广泛,在煤矿等安全等级要求较高的领域,基本都采用智能巡检装置进行安全巡视。

轨道交通行业也引入了智能巡检的概念,2017年广州地铁提出日检自动化检修装备的需求,各轨道装备智能研发企业纷纷响应。以成都唐源电气、苏州华兴致远公司为代表的大型民营轨道运维智能装备研发企业,研制了手推式或双轨自动式轨道线路智能检测装置,如图1和图2所示。但这些装置基于双轨走行、重量过大(约45kg),需要人工搬运到轨道上且人工推行,没有真正解决行业痛点。当前行业对该产品的认可度较低,市场反馈不佳,且双轨小车存在载人驾驶认证等问题。广州地铁、成都地铁等地铁公司提出了减小装备重量、自动化巡

检、实质性提高线路巡检效率的需求,因此,本文提出一种可搭载智能检测设备的轨道交通单轨自动走行装置设计方案,用以解决当前问题。



图1 手推式轨道线路智能检测装置



图2 双轨式探伤小车

2 总体构成及设计特点

单轨自动走行装置以容量电池组搭配电动机为驱动动力,采用定向轮和履带走行,上方搭载智能检测设备。装置主要包括八大部件:检测设备装载平台、定向轮、电动机、电池组、驱动系统装载平台、转轴、履带和驱动轮,如图3所示。单轨自动走行装置可搭载检测设备,对接触网导高及拉出值、轨道轨距等参数进行检测,走行速度约20~30km/h,可在一个天窗点内完成至少两个区间的检测任务。本次设计具有以下几个主要特点:

(1) 轻量化设计,方便携带。单轨自动走行装置

由四大部分(驱动系统、走行系统、检测设备装载平台和驱动系统装载平台)、八个部件组成,各部件结构简单实用,体积远小于目前市场上的线路巡检设备,装置重量约6.8kg,具有重量轻、方便携带的重要特点。

(2) 巡检速度快。单轨自动走行装置采用成熟的履带走行轮技术,搭配电动机驱动,走行速度能够达到20~30km/h,远大于当前人工巡视速度(约5km/h),极大地提升了巡检速度。

(3) 智能检测效率高。单轨自动走行装置可搭载轨距检测、接触网参数检测、隧道成像系统等,实现线路缺陷实时检测,解决当前人工巡视效率过低的问题,提升了巡检效率。

(4) 结构简单实用、拆装方便。单轨自动走行装置各个部件采用螺纹连接,拆装方便。若部件有损坏时,能够在5min内快速更换,保证检测工作的顺利进行。

3 主要系统设计

3.1 系统供电和电动机设计

单轨自动走行装置采用磷酸铁锂电池组供电,额定电压12V,容量10Ah。搭配直流减速电动机,用以控制单轨自动走行装置的运行速度,运行速度 v 约为30km/h(约8.33m/s)。单轨自动走行装置总重约7.2kg,电池组重量约2.1kg,预估检测设备重量约5.9kg。单轨自动走行装置与轨面间的滚动摩擦系数 μ 取0.005^[3],重力加速度 g 取10m/s²,则驱动功率为:

$$P=Fv=\mu mgv=15.2 \times 10 \times 0.005 \times 8.33 \approx 6.33 \text{ (W)}$$

减速电动机应满足装置的驱动要求,另外考虑到履带与钢轨之间的摩擦,选择两个6W的2D06-12GN-18S型直流减速电动机,其额定电压为12V,额定工作电流为0.5A。单轨自动走行装置采用的锂电池可以满足电动机、走行系统及检测系统等硬件设施的供电需求。

3.2 走行系统设计

走行系统由转轴、驱动轮、履带、定向轮等部件组成,主要实现单轨自动走行装置在被检钢轨上的走行功能。单轨自动走行装置需要与被检钢轨紧密贴合,保证走行装置在直线、曲线、坡道上运行时不掉道、不脱轨、不倾斜。结合城市轨道交通中50kg/m和60kg/m钢轨结构参数,设计定向轮、驱动轮、履带、装载平台等部件之间的几何关系。驱动

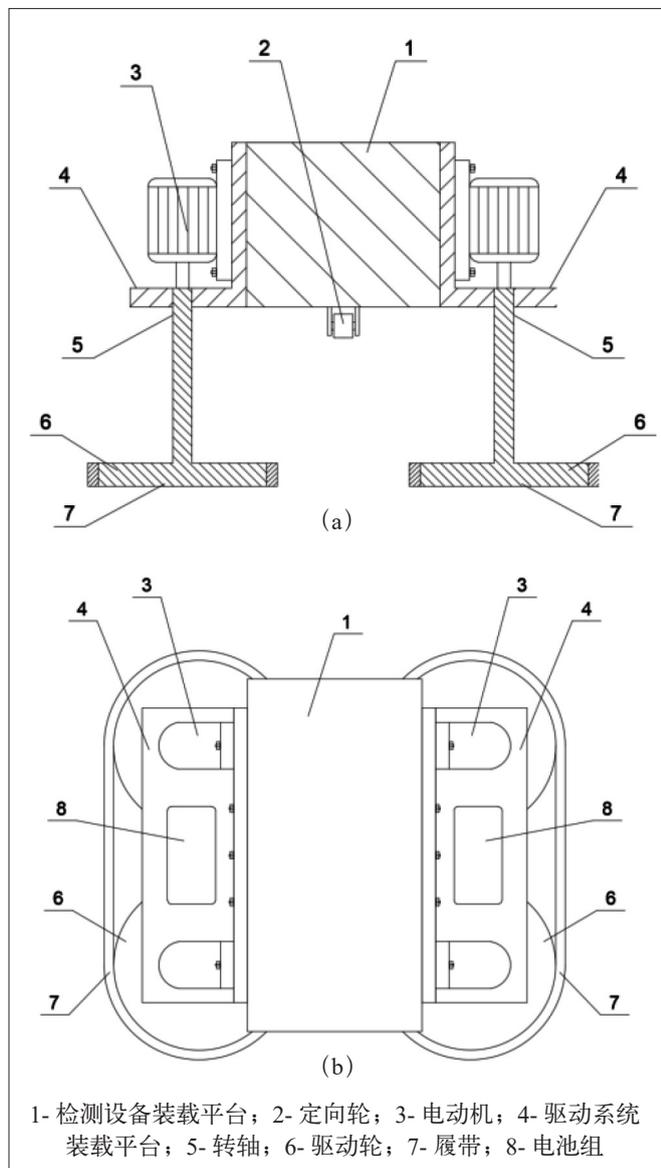


图3 单轨自动走行装置总体构成

轮垂直于轨腰设置，两个驱动轮外侧设置履带，履带紧贴钢轨轨腰，既能保证装置的走行也能起到横向定位的作用。在检测设备装载平台下方设置定向轮，与钢轨轨头紧密贴合，既能保证装置的导向也能起到竖向定位的作用。

考虑到实际运营中钢轨巡检的频率较高，设备对便携性的要求较高，装置应尽量轻便，驱动轮和定向轮均采用铝合金材料。其中，定向轮为了防止打滑，在外表面附着一层聚氨酯材料，其具有绝缘、耐磨、高承载、低噪声和轻质的特点^[4]。转轴用于承受载荷和传递转矩，材料采用高碳轴承钢，易于加工，硬度高而均匀、耐磨性好，抗接触疲劳强度高，回火后具有较好的综合力学性能。

钢轨存在损伤、磨损、剥离等缺陷，会影响单轨自动走行装置的运行。单轨自动走行装置搭载检测设备，不能有太大的振动，故履带选用橡胶复合材料，减小装置运行时的振动，再搭配检测设备的自动矫正功能，可保证检测的精度。

3.3 装载平台设计

单轨自动走行装置共有两个装载平台，分别为检测设备装载平台和驱动系统装载平台。两个装载平台分别为单轨走行装置的驱动系统和检测设备的检测系统、伺服系统、电器控制系统提供搭载条件。装载平台为单轨自动走行装置的主要组成部分，其重量直接影响整个装置的总重量，进而影响电动机功率和便携程度。故装载平台均采用铝合金材料，并将其装载的部件紧凑布局，尽量控制其体积。

驱动系统装载平台采用L形结构，其侧壁与检测设备装载平台的侧壁通过螺杆和螺母连接。螺杆与检测设备装载平台的侧壁垂直，且固定在检测设备装载平台上，在驱动系统装载平台竖直设置的板上开设用于螺杆穿过的第二通孔，驱动系统装载平台侧壁位于检测设备装载平台侧壁与螺母之间。这样便于将检测设备装载平台安装在轨道上，也可以随时将检测设备装载平台从轨道上取下，对其进行更换。检测设备装载平台上方预留检测设备安装的安装孔。

4 工作原理

4.1 驱动系统工作原理

单轨自动走行装置驱动组件包括电池组、电动机和竖直设置的转轴。驱动系统装载平台与检测设备装载平台采用可拆卸式的螺纹连接，驱动系统装载平台整体呈L形结构，包括一块水平设置的板和竖直设置的板，其电动机安装在水平设置的板上。在水平设置的板上开设用于转轴穿过的第一通孔，转轴的顶端穿过第一通孔与电动机的转子连接。驱动轮共设置4个，分别设置在检测设备装载平台的两侧。转轴的数量与驱动轮的数量一致，即每一个驱动轮对应一根转轴。转轴的底端与驱动轮的顶面固定，且转轴的竖直中心线与其固定驱动轮的中心线位于同一直线上。检测设备装载平台的一侧两个电动机中间设置电池组，电池组通过粘贴的方式固定在驱动系统装载平台上，电池组对一侧的两个电动机进行供电。所有的电动机连接同一个开关，从而

可以使电动机同步启动和停止。启动电动机,使其转子带动转轴进行旋转,进而带动驱动轮进行转动,使履带在轨道的侧壁上走行。

4.2 走行系统工作原理

检测设备装载平台位于轨道的上方,其左右两侧的底部均设置用于在轨道侧壁进行移动的履带行走轮。本文所述履带行走轮包括沿轨道侧壁行走的履带和驱动轮,履带的一部分与轨道的侧壁贴合。

履带内设置至少两个用于驱动履带移动的驱动轮,驱动轮水平设置,即驱动轮的侧面与检测设备装载平台的底部平行。检测设备装载平台上设置可使驱动轮滚动的驱动组件,通过驱动组件带动驱动轮滚动,从而使驱动轮带动履带在轨道的侧壁上移动。

两条履带之间留有间隙,间隙大小刚好为一根轨道轨腰的宽度。两条履带分别沿轨道左右对称分布,其受力均匀,移动平稳。若两条履带在运行过程中出现一高一低的情况,由于履带之间的距离仅为轨腰宽度,装置想脱离轨道往上运动时,会受到轨头的限制,不会出现脱轨的情况。

检测设备装载平台的底部安装在轨道顶部滚动的移动组件。移动组件可以起到承重的作用,也可以防止检测设备装载平台的底部与轨道的顶部接触,使检测设备装载平台在移动时更加顺畅。移动组件为2个定向轮,沿检测设备装载平台底部的长度方向均匀安装,即在其底部的前后两侧,对检测设备装载平台的稳定效果更好。履带在轨道侧壁进行移动时,通过定向轮的滚动,可以使履带的阻力减小,进而降低对电动机功率的要求。

在实际使用过程中,将检测设备装载平台放置在双轨道上的其中一根轨道顶部,使移动组件与轨道的顶部接触,使其左侧底部的履带与下方单轨道中间部分的左侧壁接触,右侧底部的履带与下方单轨道中间部分的右侧壁接触。然后,驱动组件使驱动轮转动,从而使驱动轮带动各自外侧的履带进行转

动,进而使履带在轨道侧壁上进行移动。此时,第二移动组件对检测设备装载平台起支撑作用,减小其底部与轨道顶部的接触面积,减少摩擦,从而减小履带在轨道侧壁移动的阻力,使检测设备装载平台的移动更加顺畅。

5 结语

可搭载智能检测设备的轨道交通单轨自动走行装置的设计方案均利用成熟技术,简单实用,确实可行。该装置的研制可减少轨道线路巡检人力成本,提高作业效率,缩减轨道交通运营成本。另外,该设备可实现缺陷数据量值管理,避免发生维修不足或过度维修情况,从而降低维修成本;也可实时把检测缺陷数据传至数据中心,数据中心指导线路维修工人进行现场作业,从而缩减了通信成本。

基金项目:四川交通职业技术学院科技教育发展基金项目(项目编号2021-KJ-03)。

参考文献:

- [1] 田旭. 铁路线路病害的原因分析及防治[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2016(12):257.
- [2] 交通运输部. 城市轨道交通设施设备运行维护管理办法[R]. (2019-07-27) [2023-04-13]. https://www.baidu.com/link?url=SXw_PzuTWLYigBpzUypQ0bU87ecqVb3cM6yeRjNrl780TJN2T8yIMFB9ApHXDUuKTTJRAYPNzXzCYf1-dyuTC4c6ls01HhACZbgv_QVbiKrq6nrBoYr3gIu3vE2c70z3&wd=&eqid=8e57749400005b090000000364377965.
- [3] 蒋秋月, 高晓蓉, 彭朝勇, 等. 钢轨探伤检测小车设计[J]. 铁道技术监督, 2011, 39(7):47-49.
- [4] 钟星, 朱继东. 双轨自走行B扫描钢轨探伤小车驱动系统的设计[J]. 上海铁道科技, 2014(1):36-38.

作者简介:赵宝鹏(1986.09-),男,汉族,山东德州人,硕士研究生,讲师,研究方向:轨道交通智能化检修。