

城市护栏清洗养护车工作装置的设计与仿真分析

成灿

(长沙中联重科环境产业有限公司 湖南 长沙 410000)

摘要:城市护栏清洗养护车在道路、园林、桥梁护栏清洗工作中发挥着重要作用。清洗养护车具有清洗效率高、清洗安全性高、经济投入较低等优势,因此有着广泛的应用。本文主要围绕护栏清洗养护车工作装置的设计及仿真展开论述,利用 Pro/E 软件对工作装置的结构设计构件虚拟样机模型,运用多刚体运动仿真软件 ADAMS 和动力学仿真软件 ANSYS 展开动力学仿真,了解其载荷特征与力学特性。

关键词:城市护栏;清洗养护车;工作装置;设计与仿真

0 引言

随着我国交通基础设施建设的不断完善,人们对于日常出行的要求也在不断提高。为保障人们的出行安全和交通秩序,公路护栏的数量也在不断增加,但城市护栏的清洁却成了一个难题。如今,城市护栏的清洁养护不仅要求清洁程度达标,同时也要求清洗效率更高。

常见的城市护栏在结构上表现为两种类型:一种为圆形截面钢筋或钢管焊接成段,利用螺栓进行连接;另一种是通过方形截面的钢管焊接成段,同样利用螺栓进行连接,按照道路的长度选择护栏的设计数量。不管哪种护栏,如果采用人工清洁,效率都极其低下。

护栏清洗养护车的应用转变了传统低效的人工清理模式,提高了劳动生产率与护栏清洗养护工作质量,有着非常广阔的推广空间,获得了非常好的社会效益。而在城市护栏清洗养护车工作装置的研究和开发中,虚拟样机技术的应用发挥着重要作用,能够在产品生产之前对其实现运动学和动力学分析,针对既有的设计方案进行优化调整,确保护栏清洗养护车工作装置设计方案的合理性与可行性,具有不可或缺的指导作用。

1 城市护栏清洗养护车的结构特点与工作原理

1.1 结构特点

护栏清洗养护车的结构通常包括水罐、清洗液水箱、底盘、垂直升降结构、液压传统与控制系统、水路系统等。护栏清洗养护车的结构如图 1 所示。

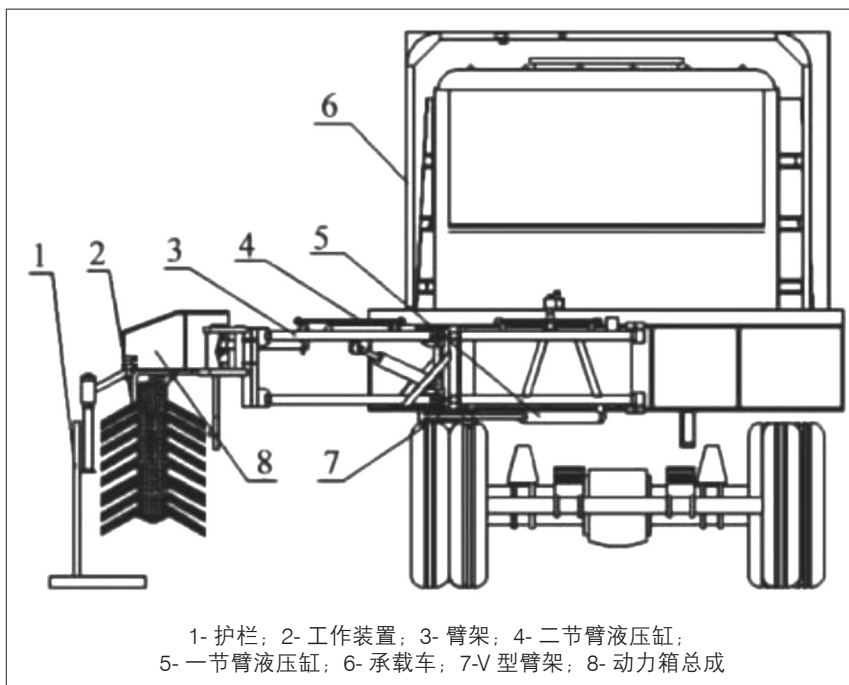


图1 护栏清洗养护车结构

1.1.1 底盘

该护栏清洗养护车为东风 EQ1061G2D2 汽车,汽车载重为 2.75t,车箱长 4.5m、轴距长 3.65m、发动机型号为 EQD6102-1 型,功率 88kW、扭矩 342N·m),采用该型汽车底盘进行改制。取力器离合选择推拉软轴控制模式,伸缩机构手柄和水泵控制手柄、主刷控制手柄等都设计在驾驶控制室中。

1.1.2 水罐和清洗液水箱

水罐的材料为钢板焊接件,设计最大容积为 3m³,额定容积为 2.3m³,横断面呈椭圆形。水罐左前方为凹陷状的缺口,有助于垂直升降机和柱形毛刷的安装,并且水罐还焊接 3 个防波板,用于在运作过程中控制水流对管壁带来的冲击。水罐后顶部设计了人孔和爬梯,为

后期的水罐内部清洁及维保工作提供便利。水罐内部还设有防锈涂层,可以避免水对于水罐内壁带来的腐蚀问题。清洁液水箱的材质是不锈钢板,同样为焊接而成,可以避免普通清洗剂对于金属材料的腐蚀,并且清洗液水箱中还设有防波层,防波层的容积在 0.1m^3 左右。

1.1.3 其他功能机构

(1) 水平伸缩机构。水平伸缩机构的作用是控制柱刷和清洗护栏之间的距离,其构成通常包含水平固定臂与伸缩油缸、活动臂等,活动臂外部还可以设计举升机构。

(2) 举升机构。举升机构的作用是控制柱刷和清洗护栏的洗刷高度,从而保证最终的护栏清洗效果。其构成一般包含活动塔臂、举升油缸、固定塔臂等,活动塔臂上设计支撑柱刷机构的托架机构。

(3) 柱刷和驱动机构。在护栏清洗养护车运作过程中,清洗需要的柱刷机构通常以高强度丝状聚合物为主要材料,柱刷的直径在停运状态下为 400mm ,运作过程中则可以达到 1000mm ,柱刷的长度在 1700mm 左右,设计柱刷的转速应在 $120 \sim 250\text{r/min}$ 之间,结合柱刷的运作要求可以选择顺时针旋转或逆时针旋转两种运作模式,柱刷上下循环运动的距离在 600mm 左右,横向伸缩距离则可以达到 700mm 。柱刷驱动机构设计在支撑柱刷机构的托架上,利用液压马达为其提供运作动力。柱刷和托架的挠性衔接基本上依赖于浮动弹簧才能做到,在柱刷面临较突出的栏杆等障碍物后,柱刷驱动机构可以实现自动避让。柱刷的运行速率可以利用节流阀控制柱刷马达转速的方式实现,节流阀的旋钮顺时针转动是减速,逆时针转动则相反,为加速。

1.1.4 液压传动和控制系统

液压传动和控制系统是护栏清洗养护车的主要组成机构,其动力通常由底盘利用取力器和万向传动轴驱动双联油泵供给。双联油泵的机构可以分为大泵与小泵,分别由两个独立的液压回路提供液压能。大泵与水泵控制阀、水泵马达、节流阀等一同构成水泵的传统与控制回路;小泵则和柱刷马达、水平伸缩油缸、垂直举升油缸等一起构成柱刷滚动和移动回路。两种回路的有效联合可以保证清洗工作装置的有效传动与控制,控制手柄通常在驾驶室外部安装,室外还有联动手柄,清理工作全程都可以在驾驶室中进行控制。

1.2 工作原理

护栏清洗养护车行驶到设有护栏的道路时,可以操作取力器挂挡让双联油泵开始运作,之后驾驶人员可以观察柱刷,同时操作多路分配阀的操作手柄,让水平伸缩机构的的活动臂伸向汽车的左侧,令柱刷和待清理护栏充分接触。期间还要操控多路分配阀的手柄,让举升机构的的活动塔臂带动柱刷开始纵向运动,直到清洗高度适

宜之后,打开开关并控制多路分配阀,让水泵马达为水泵的运作提供动力。带有压力的水流会从清洗罐与清洁水喷头处喷出,清洗液的喷出量通过清洁水流利用空吸阀根据流速而定,流速越快清洗液的用量越多,也可以利用开关进行调节。当这些参数调整完毕后就可以操作清洗养护车沿着与护栏平行的方向前进。护栏清洗工作开始后,具体的行进速度也要根据清洗情况而定,通常维持在 $3 \sim 4\text{km/h}$,一般为第一挡怠车速度, 2.3m^3 的水罐额定容量清洗的长度可以达到 12km 的清洗工作要求。为进一步提高护栏清洗作业的开展效率,柱刷旋转方向和清洗车行驶方向需要保持为顺洗,柱刷旋转切线需要和清洗车的行进方向保持一致。在清洗工作结束后,还要控制多路分配阀手柄让水泵马达停运并关闭开关,之后操控柱刷回到初始位置,一个清洗养护周期即完成。

2 护栏清洗养护车工作装置的设计

2.1 工作原理

工作装置作为护栏清洗养护车的关键构成,其中的清洗机构尤为重要,是清洗车工作装置的关键部位。工作装置通常为滚刷式运动清洗,臂架运用液压缸提供的动力进行自动折叠或伸缩,在清洗过程中展开,转场运输则进行折叠收回。一节臂液压缸和二节臂液压缸驱动 V 型臂架及二节臂运作,从而让臂架可以折叠或伸出。节臂连接如图 2 所示。

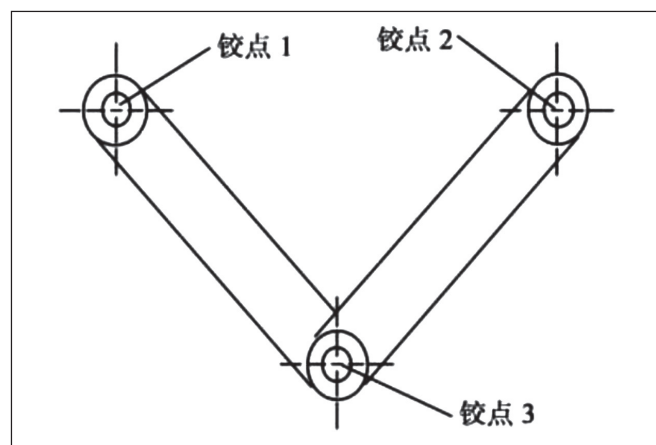


图2 节臂连接

在节臂连接结构中,支架上分别设计2个滚刷,液压马达为滚刷运作提供动力,喷水杆安装在滚刷前后部位,用于对护栏进行喷水,底盘总成安装储水罐和低压水泵、液压控制系统。

2.2 主要机构设计

2.2.1 水平推出机构

清洗装置设计在车辆之上,以便于在路面正常行驶,清洗装置需要安装于悬挂装置支架之上,并且宽度不可以高于车辆宽度。护栏通常位于公路的两边,清洗期间

需要将清洗装置推出车外并且离开悬挂装置支架。对此可以通过水平液压缸活塞杆受力时产生的推力与拉力来达到护栏清洗装置的水平推出与水平收回,具体如图3所示。期间液压缸与活塞杆在悬挂装置的支架之上应设计支点。

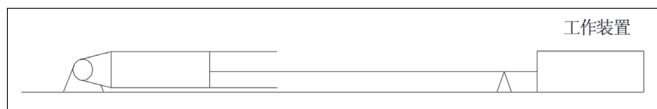


图3 水平推出机构示意图

2.2.2 垂直升降机构

在清洗装置被水平推出离开护栏之后,需要在不妨碍正常行驶的条件下,清洗装置洗刷结构包括刷箱、喷水机构、旋转轴驱动机构、纠偏机构等都要从护栏上方放下,在完成清洗工作后收回,所以需要设计垂直升降机构,具体如图4所示。垂直升降机构通过液压缸垂直设计在一个梁上,活塞杆则设计在悬挂装置支架上,缸体和具有清洁刷箱的垂直梁衔接,活塞杆的移动会对整个洗刷装置的垂直升降产生联动效果。

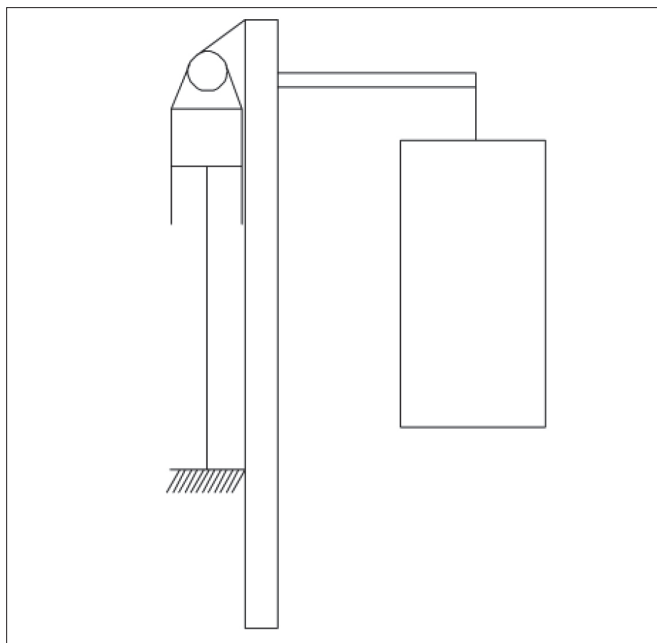


图4 垂直升降机构示意图

2.2.3 供水系统

如果护栏上有大量灰尘需要清理,但没能设计清洗机构,则可能会导致二次污染的现象,难以达到理想的清洗养护效果。所以在利用毛刷清洗护栏之前还要设计喷水机构,利用一个垂直臂设计4个喷嘴的形式设计在刷箱前方,在运作期间水泵可以将水从喷嘴位置喷射出来,先将待清洗护栏喷湿,之后利用毛刷清理。供水系统的构成有射水机构、储水箱、管路系统等。其中射水机构又包含了支架与喷头结构,在工作臂前方的滚刷

两边固定。喷头一般设计在支架之上,并且前后各有一组喷头,可以利用喷头来控制喷水量。储水箱的容量设计需要满足至少5h的工作需求。

2.3 布局方案选择

当前常见的护栏清洗养护车大多为独立设计清洗设备,安装在清洗车的前、中、后三个结构,通过取力器由发动机或变速器取力,利用全液压驱动进行护栏清洗。

2.3.1 清洗装置前置

长沙中联重科中标事业部研发中心研制的一种公路护栏清洗装置,具有强度高、洗刷轴不易变形、加工便利、维护便利等优势,并且对于清洗期间汽车的行进不会带来较大影响,而且操作便利、经济适用,也可以在清洗车上进行改造,实用性较强。

2.3.2 清洗装置中置

四川省现代设计方法研究会所研究的道路钢护栏清洗车,位置伺服与往复振荡机构、多挠性洗刷喷淋系统具有较强的适用性,面对多种护栏类型都能起到理想的清洗效果。

2.3.3 清洗装置后置

理想的清洗装置后置应当具备导向装置,确保清洗车可以随着护栏的转弯而产生对应的变化,避免对护栏造成损坏,只需要清洗车规范操作即可。

3 基于 Pro/E 的护栏清洗车三维模型

利用三维建模软件 Pro/E 构建护栏清洗养护车的三维立体模型,建模过程利用了圆形截面,并进行拉伸、扫描、打孔、挖槽、旋转等。利用从下而上的设计顺序,目的在于有效提高对工作装置内部零件约束关系的把控,从整体上实现对各构件结构的观察和控制,按照不同的设计需求针对装配件中的零件进行调整,从而达到设计要求。护栏清洗养护车以及工作装置的三维实体模型如图5和图6所示。

4 护栏清洗养护车的仿真分析

4.1 工作装置的运动学仿真

护栏清洗养护车的关键参数是判断其工作水准的一种指标,也是评价护栏清洗养护车参数优化结果的一种参照。利用 ADAMS 仿真软件实施运动学、静力学、准静力学和线性及非线性动力学分析。通过 Pro/E 和 ADAMS 双向数据交换构建工作装置动力学仿真模型,如图7所示。

按照设计需求,运动部件作为刚体,定义地基为其他刚体运动的参考依据。结合构件的运动关系明确刚体间的约束副。护栏清洗养护车工作装置的运动基本有活塞杆和缸筒间移动,或其余刚体之间产生的运动。因为工作装置运动依靠液压缸提供动力,所以液压



图 5 护栏清洗养车三维模型



图 6 工作装置三维模型



图 7 工作装置动力学仿真模型

缸的缸筒与活塞杆之间需要增设驱动。在仿真过程中利用 ADAMS 系统提供阶跃函数 STEP 函数设定液压缸运动驱动。期间工作装置刷辊轴位置进行标记,利用顺序动作模式设定驱动函数,动作仿真限制在 50s,步数为 500,通过求解器完成求解,之后利用处理模块输出工作装置的运动姿态变化图(图 8)。在 ADAMS/View 中实现工作装置清洗状态循环的模拟仿真,取不同工况姿态图,在处理模块中输出驱动液压缸和 V 型臂架铰点载荷曲线,为之后液压系统的设计可靠性分析提供参考。

4.2 工作装置的静力学分析

护栏清洗养车的工作装置为悬臂结构,工作过程中可能会受到惯性载荷。为准确模拟工作装置在运作期间的受载荷变形情况,重力和惯性载荷施加在花键轴受

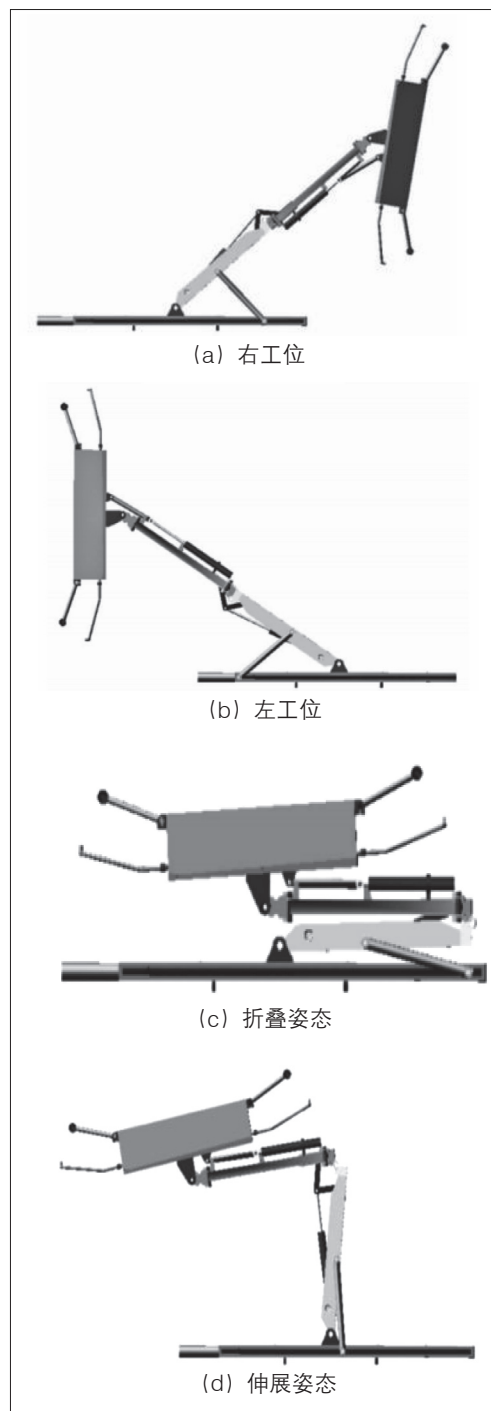


图 8 工作装置的工况姿态

力点,如公式:

$$F_{\max} = G_0 + F_a \quad (1)$$

$$F_a = \frac{G_0 \Delta v}{\Delta t}$$

式中, $F_{\max}$ 为工作装置的垂直方向最大载荷; G_0 为外侧刷辊机架、伸缩臂结构与附属零件的受重力的和; F_a 为工作装置垂直方向的惯性载荷; g 为重力加速度; $\frac{\Delta v}{\Delta t}$ 为加速度。

通过有限元软件 ANSYS 构建工作装置有限元模型,

划分网格通过 Solid45 单元。该单元为高阶 3 维 8 节点的固体机构单元，有着二次位移模式，所以能够模拟出多种规则的模型。工作装置所选材料为 Q235，按照这种材料的特性进行网格划分，共 117892 个单元网格。有限元模型还要设计边界约束，按照工作装置的载荷参数，在竖直伸缩臂和机架支撑面施以三轴向的位移约束，利用对结构施加重力加速度的手段提升重力载荷。经过计算后，外侧刷辊机架、伸缩臂结构、附属零件受重力为 1344.56N。由于垂直向伸缩液压缸的运动速度在 20mm/s 左右，速度并不快，所以加速度的参数也相对不高，若以

$$\frac{\Delta v}{\Delta t}=0.1\text{m/s}^2$$

为标准，经过计算可以得到惯性载荷

$$F_a=\frac{G_0\Delta v}{\Delta t}=\frac{1344.56}{9.8}\times0.1=13.72\text{N},$$

等效到重力载荷之中再进行仿真计算，完成求解后就能得出变形位移和等效应力分布情况。

结果表明，由于工作装置为悬臂支撑，所以最大等效应力存在于花键轴及其套配合面的位置，最高变形位移则存在于工作装置外部的刷辊臂架底部，变形位移最大值和最大等效应力为 3.14mm 和 51.8MPa，由于工作装置的材料为 Q235，屈服强度在 235MPa 左右，所以静态载荷变形位移和最大等效应力较小，能够达到设计中的强度需求。

4.3 工作装置的动力学分析

护栏清洗养护车工作装置在运作期间，刷辊结构为旋转运动，而旋转运动所产生的离心力让柔性刷丝可以与清洗目标充分接触，本身的结构和装配误差可能导致不平衡离心惯性力对工作装置的整体运作状态产生不定期影响，所以利用 ANSYS 针对工作装置展开振动模态分析，了解其低阶固有频率和模型，掌握低阶振动模态特征以及对结构产生的扰动影响。工作装置的模态取决于装置自身的机构特性、材料特性等既有因素，和外部的载荷并没有直接关联。针对花键轴和工作装置内侧连接位置进行固定约束，并分析模态值，提取前 3 阶模态值，如表所列。由表可以了解到振型。刷辊驱动液压马达的

表 工作装置结构低阶固有频率及振型

阶次	一阶	二阶	三阶
固有频率 /Hz	7.0509	7.6966	15.835
变形情况	水平弯曲	垂直弯曲	弯扭组合

运作速率在 400r/min 左右，能够规避工作装置的低阶共振频率，这也印证其动态性能达到了设计标准。

5 结语

得益于三维设计软件 Pro/E 与虚拟样机技术，城市护栏清洗养护车工作装置的设计可以建立在三维实体模型之上，通过仿真软件 ADAMS 实现清洗养护车工作装置的运动仿真分析，经过运动学分析了解工作装置关键结构在工作期间的载荷情况，导入 ANSYS 分析其强度，为工作装置的结构设计与运动分析带来更加真实完整的数据支持，也为城市护栏清洗养护车产品的研究开发提供参照。

参考文献：

[1] 欧阳超，江国栋，陈强，康宝泉．城市道路护栏清洗车避障机构的研究[J]．建设机械技术与管理，2016，29(11)：61-64.

[2] 李宇峰．一种道路护栏清洗车[J]．专用汽车，2002(01)：26-27.

[3] 邓起孝．城市道路钢护栏清洗车设计与研制[J]．机械，2000(05)：26-28.

[4] 杨钊，冯忠绪，赵悟，薛云．城市护栏清洗车工作装置动力学分析[J]．山东交通学院学报，2011，19(01)：72-76+81.

[5] 赵悟，李冠峰，雒晓辉．城市护栏清洗养护车工作装置的设计与仿真分析[J]．工程机械，2011，42(10)：43-47+8.

[6] 李宗．隧道壁与声屏障综合清洗车工作装置动力学分析与机构优化设计[D]．西安：长安大学，2018.

作者简介：成灿（1987.02-），男，汉族，湖南湘乡人，本科，中级工程师，研究方向：机械设计。