

道路交通中自发电减速带设计分析

符养斌

山西省交通新技术发展有限公司, 山西 太原 030012

[摘要]针对传统减速带车辆通过舒适性差、耐久性不足、功能单一等设计缺陷,本研究设计了一种自发电减速带。该装置采用高弹性复合材料与模块化结构设计,提高减速带抗疲劳性能,降低其维护成本;集成适配发电装置将车辆碾压的机械能转化为电能,可为道路照明及交通信号设施提供可持续能源,实现能源回收利用;设计自适应液压缓冲系统,可根据车辆实时速度动态调节阻尼系数,在确保减速效果的同时优化行车舒适性;配备智能检测照明系统,可根据环境条件自动调节发光强度,提升夜间及恶劣天气条件下的视觉辨识度,确保行车安全。研究表明,该设计实现减速带能量转换效率、结构可靠性与交通安全性的有效提升,其集成创新思路对推动交通基础设施建设绿色化、智能化发展具有参考价值。

[关键词]市政道路;减速带;发电装置;振动能量

DOI: 10.33142/ec.v8i7.17600

中图分类号: U491.5

文献标识码: A

Design and Analysis of Self Generating Speed Bumps in Road Traffic

FU Yangbin

Shanxi Provincial Transportation New Technology Development Co., Ltd., Taiyuan, Shanxi, 030012, China

Abstract: In response to the design defects of traditional speed bump vehicles, such as poor comfort, insufficient durability, and single function, this study designs a self generating speed bump. The device adopts high elasticity composite materials and modular structure design to improve the fatigue resistance of the speed reducer and reduce its maintenance cost; The integrated adaptive power generation device converts the mechanical energy generated by vehicle compaction into electrical energy, which can provide sustainable energy for road lighting and traffic signal facilities, achieving energy recovery and utilization; Design an adaptive hydraulic buffer system that can dynamically adjust the damping coefficient based on the real-time speed of the vehicle, optimizing driving comfort while ensuring deceleration effect; Equipped with an intelligent detection lighting system, it can automatically adjust the luminous intensity according to environmental conditions, improve visual recognition at night and in adverse weather conditions, and ensure driving safety. The research results indicate that this design effectively improves the energy conversion efficiency, structural reliability, and traffic safety of speed bumps. Its integrated innovative ideas have reference value for promoting the green and intelligent development of transportation infrastructure construction.

Keywords: municipal roads; speed bump; power generation device; vibration energy

引言

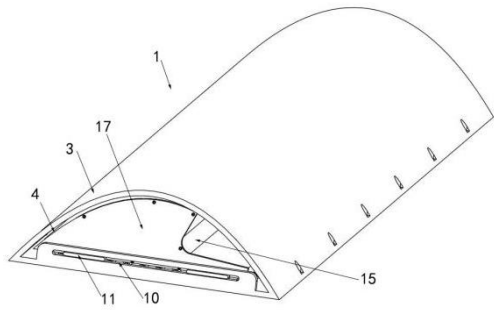
减速带是道路交通中重要的安全设施,通过物理凸起强制车辆减速,以减少交通事故风险,在学校、机关、医院、商场、车站、工厂等人流密集区域及事故多发路段具有重要应用价值^[1]。然而,传统减速带多采用实心橡胶材质,高度固定,不仅难以适应不同车型的通过需求,且会在一定程度上影响驾驶舒适性。此外,传统减速带缺乏能量回收机制,无法将车辆通过时产生的动能转化为可利用资源,导致能源浪费;在夜间或恶劣天气条件下缺乏主动警示功能,容易被驾驶员忽视,增加安全隐患;长期使用容易出现磨损变形问题,提高维护成本^[2]。为此,有必要优化减速带设计,提高其适应性、智慧性,确保减速效能的同时,兼顾行车舒适性与安全性。

1 自发电减速带设计方案与工作原理分析

本文提出的自发电减速带包括弹性减速带与支撑减速带。弹性减速带与支撑减速带的两端均为开口设计,支

撑减速带嵌套于弹性减速带内部,两者之间通过间隔布置的弹簧连接。当车辆经过时,弹性减速带在压力作用下发生形变,推动支撑减速带水平移动并压缩弹簧,使其存储弹性势能。当车辆经过后,压缩弹簧释放弹性势能,驱动支撑减速带复位。该设计既具备传统减速带的强制减速功效,又通过弹性元件实现缓冲减震,还可将车辆通过时产生的机械能转化为可利用的电能,进行能量回收利用。

该自发电减速带在支撑减速带内部固定安装有若干压电板组件,每个组件由压电板本体和配重锤构成。当车辆经过自发电减速带时,支撑减速带的水平移动通过冲击力使压电板本体振动并发电。而配重锤通过惯性作用可进一步增大压电板本体振动幅度,提升发电效率。值得注意的是,为防止过度振动导致结构损伤,在配重锤的锤杆两侧设有限位杆,与压电板本体下端抵触,以有效控制配重锤摆动幅度。产生的电能经由电连接片和弹性插针传输至外部储能设备实现能量存储。



注：1 为发电减速带，3 为弹性减速带，4 为支撑减速带，10 为限位滑槽，11 为限位滑板，15 为防逆行凹坑，17 为封堵板

图 1 自发电减速带整体结构示意图

压电发电基本公式为：

$$Q = d_{33} \times F \times \frac{A}{t} \quad (1)$$

式中： d_{33} 为压电常数； F 为冲击力； $\frac{A}{t}$ 为振动幅度与压电板厚度比。

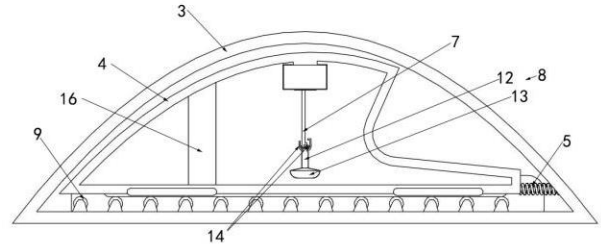
当车辆经过自发电减速带，压电板单次发电能量可表示为：

$$E_{\text{single}} = \eta \times \left(\frac{1}{2} \times F \times A \right) = \eta \times \left(\frac{1}{2} \times \frac{mv^2}{\Delta x} \times \left(\frac{mv^2}{\Delta x} + kM \right) \right) \quad (2)$$

式中： m 为车辆质量； v 为速度； Δx 为减速带形变程度； M 为配重锤质量； k 为惯性耦合系数； A 为振动幅度； η 为压电转换效率。

当前道路交通所使用的减速带多为圆弧形设计或梯形设计。综合考虑车辆的振动冲击、乘坐舒适性、轮胎磨损率等因素进行有限元分析，发现车速较小时，减速带形状对车辆的影响无显著性差异；车速较大时，圆弧形减速带对车辆的影响显著低于梯形减速带。因此，本文提出的自发电减速带，其弹性减速带设置为圆弧形。弧形顶部采用高弹性橡胶材质，以增强形变能力并降低车辆冲击，弧形底部优选高性能金属材料，以提高结构强度，两者通过螺栓固定连接，确保整体稳定性。为降低运动阻力，在弹性减速带的内底部设置支撑辊，使支撑减速带下表面与弹性减速带之间形成滚动摩擦，减少能量损耗。弹性减速带底部两侧设有限位滑槽，与支撑减速带两侧的限位滑板滑动配合，既保证水平移动的顺畅性，又通过滑槽长度限制支撑减速带的位移范围，避免过度压缩弹簧。支撑减速带右侧设置防逆行凹坑。当车辆逆行行驶时，防逆行凹坑显著增大轮胎阻力，阻碍车辆通过。考虑到圆弧形顶盖在自然状态下与上盖板之间存在一定间隙，该间隙易积聚杂物，可能影响下压动作，限制升降行程。设计利用封堵头对自发电减速带两端进行封堵处理，确保其始终处于相对封闭状态，防止路面杂物侵入内部结构。封堵板与支撑减速带之间通过螺栓连接，其内侧设有由连接框和连接轨道组成

的连接组件，用于固定压电板组件。连接轨道与支撑减速带固连，连接框沿轨道滑动并通过封堵板限位。连接框设有专用插槽，可与压电板本体的插块形成插接配合，通过插块上的电连接片与插槽内弹性插针的可靠接触，构建稳定闭合电路，确保振动能量转换产生的电能高效传输至储能装置。



注：3 为弹性减速带，4 为支撑减速带，5 为弹簧，7 为压电板本体，8 为配重锤，9 为支撑辊，12 为锤杆，13 为锤头，14 为限位杆，16 为支撑柱

图 2 自发电减速带的内部结构 A 向示意图

2 自发电减速带发电装置设计

2.1 自发电减速带发电装置主要运行模式

液压传动与电磁驱动是当前自发电减速带发电装置常见运行模式，液压传动式减速带发电装置基于流体动力学原理，将机械动能转化为液压能进而产生电能。当车辆驶过减速带时，轮胎对减速带上盖板施加垂直载荷，导致密闭腔体内的液压油受压^[3]。由于连通管道采用节流设计，液压油无法瞬时流动，从而形成高压油流，并以湍流状态冲击涡轮叶片组，在叶片两侧形成非对称压力分布，驱动叶轮旋转。叶轮通过联轴器与永磁同步发电机相连，实现机械能向电能的有效转化。减速带上的载荷撤除后，通过设置的储油囊实现介质回流，并借助复位弹簧使上盖板恢复初始位置，完成能量循环。电磁驱动式减速带发电装置基于法拉第电磁感应定律将机械动能转化为电能。当车辆压过减速带时，减速带下方的液压或机械传动系统将上下往复运动转化为旋转运动，驱动内置的永磁体或励磁线圈在定子中旋转，切割磁感线产生电流。当轮毂离开时，弹簧将减速带弹起，线圈向上运动，弹性势能释放，线圈内磁通量将发生变化，产生电流。产生的电流经整流电路转换为直流电，再通过储能装置进行电能存储，最终经逆变器调节后并入电网或供周边设施使用。发电系统采用模块化设计，通过组合多个发电模块构成发电模块组，实现整体发电能力有效提升。

2.2 自发电减速带发电装置设计思路分析

本文提出的自发电减速带发电装置主要是利用车辆经过时产生的压力驱动发电机进行发电。相较于传统需要开挖基坑的减速带发电装置结构设计，本装置通过优化整体机械传动布局，采用 V 字形支撑摆板设计，将压力发电模块完全集成于减速带内部，既降低了装置的整体高度，

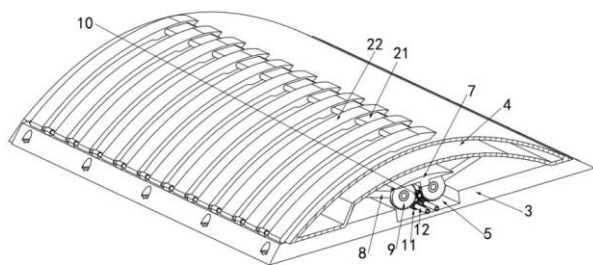
又避免了基坑开挖带来的施工复杂性和环境适应性问题。与此同时,通过密封式结构设计,有效防止雨水和杂物侵入传动部件,解决传统基坑式装置因长期积水和杂物堆积导致的维护难题;通过模块化结构设计,使装置的安装、拆卸和维护更加便捷,同时便于根据不同路况和发电需求灵活调整配置,有效提升发电装置的实用性和适用性。

2.3 自发电减速带发电装置整体结构分析

本文提出的自发电减速带发电装置由压力模块和发电模块两大部分构成,各模块间通过精密的结构设计实现能量传递与转换,在确保减速带基本功能的同时,有效提升了能量回收效率。

2.3.1 压力模块

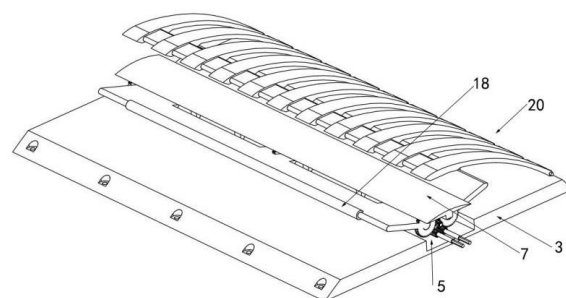
自发电减速带发电装置的压力模块采用固定基座与变形腔体的组合式结构。固定基座与拱形变形腔体通过刚性连接形成密闭的发电仓,该仓体不仅为机械压力发电组件提供了安装空间,更通过密封设计有效隔绝了雨水和杂物侵入,保障了内部机构的长期稳定运行。压力模块中的变形腔体采用拱形设计,内部容纳有非牛顿液体,并通过与储液囊的紧密配合实现液体的动态响应。变形腔体两端通过封堵板与固定基座刚性连接,形成完整的密封结构。其中封堵板上精密加工的连接通孔配合旋转密封装置,确保了动力传递轴在动态工况下的密封可靠性。变形腔体采用非对称式结构设计,一侧设置为扩容阻力腔,在增加非牛顿液体容纳量的同时,扩展对弧形支撑板的支撑范围;另一侧变形底座上设置了弧形支撑板,并通过铰接机构与变形腔体连接,其上表面设置配重连接杆形成杠杆系统。弧形支撑板在本装置中具有多重功能:常规工况下作为缓冲界面保护变形腔体;高速通过时与扩容阻力腔协同形成刚性凸起强制减速;逆向行驶时则通过杠杆原理自动抬升形成物理屏障。压力模块采用模块化拼接结构设置,具有灵活可扩展的特点,可根据使用场景实际情况灵活调整拼接数量,实现与安装长度的精准匹配。与此同时,模块化拼接设计可提高产品运输、现场安装、运营维护的便捷性,利于装置应用成本节约。



注: 3 为固定基座, 4 为变形腔体, 5 为机械压力发电组件, 7 为支撑顶板, 8 为支撑摆板, 9 为驱动齿轮, 10 为中间齿轮, 11 为动力传动轴, 12 为配重连接杆, 21 为配重连接杆, 22 为弧形齿

图3 压力模块内部结构示意图

自发电减速带发电装置的机械压力发电组件采用高度集成的密封式设计,整体安装于发电仓内部,在降低结构高度的同时,有效隔绝雨水和固体杂质的侵入,为发电单元提供稳定的工作环境。组件创新性采用 V 型双摆板结构,两个支撑摆板呈精确的夹角布置,下端通过轴承与固定基座形成转动副,上端则与变形腔体下表面保持动态接触。每个支撑摆板下端均固定连接有驱动齿轮,通过中间齿轮的媒介作用形成运动耦合。当车辆通过减速带时,前侧支撑摆板受压下移,其驱动齿轮一方面通过动力齿轮带动发电机轴旋转发电,另一方面经中间齿轮联动后侧摆板完成复位动作。随着车辆继续行进,后侧支撑摆板受压发生转动,通过驱动齿轮与动力齿轮之间的啮合带动与之对应的动力传动轴转动,带动发电机进行发电;通过驱动齿轮与中间齿轮之间的啮合带动前侧支撑摆板升起复位。该设计在将车辆动能高效转化为电能的同时,通过机械自锁替代传统弹簧复位装置,有效降低机械复杂度,提高系统运行可靠性。

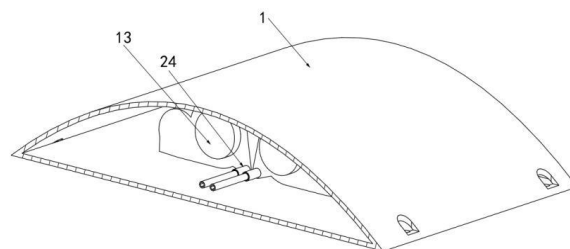


注: 3 为固定基座, 5 为机械压力发电组件, 7 为支撑顶板, 18 为支撑摆板, 20 为弧形支撑板

图4 机械压力发电组件处某个方向的结构示意图

2.3.2 发电模块

发电模块采用双发电机配置,每个动力传动轴独立连接一台发电机,实现单轴驱动单机的工作模式。动力传动轴与发电机输入轴之间通过单向轴承连接,该设计可确保支撑摆板在复位过程中不会反向驱动发电机,从而维持发电机的单向旋转特性。此外,动力传动轴与发电模块采用旋转连接方式,并在连接处配备旋转密封装置,以确保系统的密封性。



注: 1 为发电模块, 13 为发电机, 24 为单向轴承

图5 发电模块内部结构示意图

3 自发电减速带检测照明系统

所述自发电减速带左右两侧设有横向凹槽,内部集成高亮度 LED 警示灯带,与储能系统直接连接。在夜间或低照度环境下,LED 灯自动激活并发出白色频闪光效,通过动态视觉提示使驾驶员在 50m 外即可清晰辨识减速带位置,有效引导驾驶员提前减速,减少冲撞风险。所述自发电减速带顶部嵌装红外线探测器,可对周边 5m 范围内的人体活动进行实时监测,当识别到行人接近时,立即向中央控制器发送信号,触发 LED 灯切换为红色常亮模式,一方面提示行人注意减速带位置,另一方面警示后方来车前方有行人通过,实现双向安全预警。控制系统采用自适应算法,能根据环境光照强度智能调节 LED 亮度,在确保警示效果的同时最大限度降低能耗^[4]。所述自发电减速带检测照明系统通过结构一体化设计实现完全防水,且无需外接电源,在提升道路交通安全性的同时降低了运维成本。

4 结语

本文设计的自发电减速带有效解决了传统减速带存在的技术缺陷,在确保行车安全性和乘坐舒适性的同时,

实现了对车辆行驶能量的高效回收利用,具有显著的节能环保效益。该减速带采用模块化设计,各组件可快速拆卸与更换,利于维护和升级。智能检测照明系统的设置,提高了减速带的环境适应性,实现交通基础设施智能化水平提升。未来,随着技术的深度融合与材料的创新应用,自发电减速带将成为推动交通绿色化、智能化发展的关键设施。

[参考文献]

- [1]刘玉玲,李鹏鹏,钟鑫,等.浅谈智能现代化减速带建立的重要性[J].科技与创新,2021(23):81-83.
 - [2]丁昕,李鹏鹏,钟鑫,等.智能现代化减速带高度调节对车辆安全性的影响[J].科技与创新,2021(23):43-44.
 - [3]方腾,张金成,董兵兵.基于减速带重力势能的道路发电装置机构设计[J].机械工程师,2024(9):68-72.
 - [4]王凯达,穆文英,张连昊,等.自产电非牛顿流体 LED 警示减速带的设计与研究[J].科技创新与应用,2019(23):49-53.
- 作者简介:符养斌(1966.9—),毕业院校:北京理工大学,所学专业:汽车,当前就职单位:山西省交通新技术发展有限公司,职称级别:高级工程师。