

低速无感可升降自供电减速带研究

张真银, 王昭宁, 王梦涵, 陈宇轩, 高兴亚, 何永明
东北林业大学 土木与交通学院, 黑龙江 哈尔滨 150040
DOI:10.61369/ME.2025050026

摘 要 : 针对传统减速带在保障道路安全时采用的强制降速, 造成驾驶舒适性差及车辆机械损耗大等问题, 论文提出一种低速无感可升降自供电减速带系统。该系统通过测速感知子系统、智能数据处理中枢、自适应升降动力系统, 实现了基于车速的智能化控制。

关 键 词 : 交通安全; 自供电; 升降减速带; 驾驶员舒适度; 车辆使用寿命

Research on Low-Speed, Non-Intrusive, Height-Adjustable Self-Powered Speed Bumps

Zhang Zhenyin, Wang Zhaoning, Wang Menghan, Chen Yuxuan, Gao Xingya, He Yongming
School of Civil Engineering and Transportation, Northeast Forestry University, Harbin, Heilongjiang 150040

Abstract : Aiming at the problems such as poor driving comfort and large mechanical wear of vehicles caused by the forced speed reduction adopted by traditional speed bumps when ensuring road safety, this paper proposes a low-speed, non-intrusive, height-adjustable self-powered speed bump system. This system realizes intelligent control based on vehicle speed through a speed perception subsystem, an intelligent data processing center, and an adaptive lifting power system.

Keywords : traffic safety; self-powered; speed bumps for lifting and lowering; driver comfort; vehicle service life

一、研究背景

(一) 应用背景

在复杂的交通环境中, 传统减速带的局限性日益凸显。《城市交通设施安全评价导则》(2020年) 研究显示, 设计不合理的减速带间接导致了2% ~ 5%的低速路段事故。强制减速设计不仅严重影响驾驶舒适性, 更对车辆底盘造成持续性损害。随着电动汽车的普及, 这一问题愈发严重——较低安装的电池组^[1]在频繁通过减速带时更易受损, 既影响电池寿命又埋下安全隐患。

(二) 国内外研究

鉴于这种情况, 国外学者已经开展了一系列研究工作。邹鸿翔^[2]等提出一种单向车道的抗冲击车路能量减速带, 通过“顺势运动”吸纳车辆滚压能量, 但存在低交通流量时段可能供电不足; 吴子英^[3]等提出一种双稳态减速带振动能量俘能装置, 能够有利于减速带振动能量的收集, 但未说明低车速(< 20km/h)时的发电能力(可能接近零输出)。张明远^[4]首次结合 EEG 脑电实验(n=50)量化驾驶员通过不同高度减速带时的应激反应, 但未考虑不同年龄段驾驶员差异(样本均为20~40岁)。李红岩^[5]提出“吸音-智能升降”复合型减速带, 通过材料与结构优化实现安全与降噪协同, 但在极端天气下响应会延迟。论文创新融合智能升降与自供电技术, 通过自适应调节有效缓解车辆颠簸, 降低

底盘磨损, 同时实现车辆振动回收利用, 完美契合我国绿色智慧交通发展理念。

二、解决方案

(一) 智慧升降

为提高人员密集区域人车通行的安全性和舒适性, 针对传统减速带存在的固有缺陷, 团队在原有减速带的基础上增加了智慧升降系统。该系统通过多模块协同工作实现智能化速度管控, 主要由以下核心组件构成: 测速感知子系统、智能数据处理中枢、自适应升降动力系统。各子系统通过物联网技术有机集成, 形成完整的智能交通管控系统^[6]。

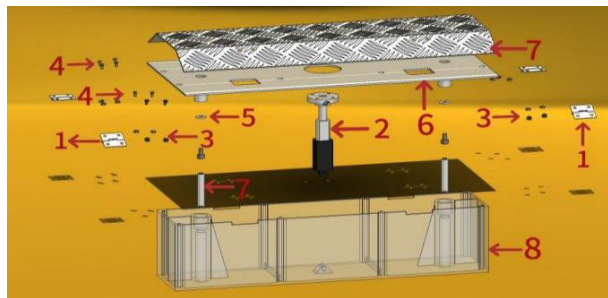


图1 减速带结构图

测速子系统是整套系统的前端感知模块，主要负责车辆速度的实时监测与数据采集。该系统采用高性能雷达测速装置，配合高精度电信号传输单元组成。数据处理系统作为整个系统的控制中枢，由三大核心组件构成：高灵敏度电信号接收器、双色 LED 指示灯阵列以及单片机控制单元。

1. 合页；2. 助推杆；3. 六角螺母；4. 十字槽沉头螺钉；5. 垫片；6. 封板；7. 光杆；8. 下箱体

升降动力子系统作为系统的执行机构，采用机电一体化设计，集成高性能电动推杆、精密行程开关、机械限位保护装置及高防护等级密封箱体。

(二) 升降原理

该减速带设置在路面上，距离其 L 处设置限速牌，其中设置雷达的测速区间为 M_0 ，使得其能实时检测到距离限速牌小于等于 M_0-L 处任意位置车辆的瞬时速度，并将其转化为电信号通过双绞线传输方式将采集数据实时传送至数据处理系统^[7]。

当车辆以速度 V 行驶在路上，此时与雷达的距离为 M_0 ，并设定此时时刻为 0s，当前路段限速为 V_0 ，若车速 $V > V_0$ 时，雷达通过电信号传输装置将信号传输给升降动力系统中的电信号接收装置，系统做出反应从而使得指示灯变红，提醒驾驶人减速，若到达限速牌处还未降至规定速度，那么减速带保持升起状态，迫使车辆减速。

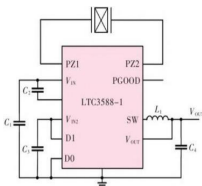
(三) 减速带供电

升降系统采用高效节能的自供电系统，该系统采用创新性的能量回收技术，主要由能量收集模块和电机驱动模块两大部分组成。

能量收集模块作为整个自供电系统的核心组件，采用了先进的压电能量转换技术。该模块包含压电传感层、能量转换器和智能储能电路等关键部件。当车辆通过减速带时，产生的机械振动会驱动压电能量收集器中的悬臂梁结构产生形变，附着在其表面的压电材料随即发生正压电效应，将机械能转化为电能^[8]。能量转换器将产生的交流电经过高效整流电路转换为直流电，并通过智能充放电管理系统存储于专用蓄电池中。

(四) 供电原理

本装置中车辆与减速带振动过程，在压电能量收集器的作用下，可以将其等效为一个机电耦合动力学模型，该模型以“质量块-弹簧-阻尼”为核心构建参数模型。



3. 能量回收与自供电能力上, 系统依托压电能量转换技术, 车辆通过时可将机械振动转化为电能。车速 30km/h 单次发电 12J, 40km/h 时达 27J, 且车速越快发电越多, 所发电量能满足减速带升降及传感器工作需求, 实现自供电, 契合绿色智慧交通理念^[10]。

综上, 该减速带系统有效平衡安全、舒适与节能, 为解决传统减速带问题、推动交通设施智能化绿色化升级提供了可行方案, 具备较高的实际应用价值与推广前景。

参考文献

[1] 王振宇, 李志强, 张雨辰等. 电动汽车底盘通过性与减速带兼容性优化设计 [J]. 汽车工程, 2023, 45(2): 210-218.

[2] 邹鸿翔, 李猛, 赵林川等. 抗冲击车路能量收集减速带设计与自供能交通管控 [J]. 机械工程学报, 2022, 58(20): 72-82.

[3] 吴子英, 严涵, 李永越, 赵伟等. 一种双稳态减速带振动俘能装置发电性能研究 [J]. 工程科学与技术, 2022, 54(02): 205-212.

[4] 张明远, 李华强, 王思睿. 基于驾驶员心理生理特性的减速带优化设计研究 [J]. 中国公路学报, 2023, 36(2): 215-226.

[5] 李红岩, 张伟, 王静等. 智能减速带在校园区的降噪与安全协同优化 [J]. 交通运输工程学报, 2022, 22(8): 112-123.

[6] 何远义. 基于物联网的智能监控系统在交通建设中的应用研究 [J]. 运输经理世界, 2024(18): 151-153.

[7] 陈玺兆. 基于深度学习的路面橡胶减速带识别与缺陷检测系统研究 [D]. 浙江科技大学, 2024.

[8] 王子雄. 基于 Simulink 的汽车通过减速带振动响应分析 [J]. 汽车零部件, 2025, (02): 48-51.

[9] 徐迎, 滕燕, 胡万兴, 李兴旺. 基于驰振的压电能量收集器的仿真与试验 [J]. 机床与液压, 2024, 52(23): 112-117.

[10] 李启朗, 邢红晟. 减速带对双巡航控制模型瞬时交通排放的影响 [J]. 安徽理工大学学报 (自然科学版), 2025, 45(01): 35-41.