第 18 卷 第 2 期 2018 年 1 月
1671—1815(2018)002-0358-05

科 学 技 术 与 工 程
Science Technology and Engineering

Vol. 18 No. 2 Jan. 2018
© 2018 Sci. Tech. Engrg.

引用格式：魏金丽，杨金顺，何继旭，等．基于自适应理论的可升降减速带设计[J]．科学技术与工程，2018，18(2)：358—362
Wei Jinli，Yang Jinshun，He Jixu，et al. Design of adjustable speed bump based on adaptive theory[J]. Science Technology and Engineering，2018，18(2)：358—362

基于自适应理论的可升降减速带设计

魏金丽 杨金顺 何继旭 韩乐潍 白 坤 郑甜甜
(青岛理工大学机械与汽车工程学院 青岛 266520)

摘 要 常规道路减速带在降低车速保证交通安全的同时，也存在设置不规范、易造成车辆损害、乘客舒适性差等缺点，为减少减速带设置带来的负面影响，提出一种基于自适应理论的可升降减速带。该减速带可根据车速信息及对驾驶员行车意向的识别，反馈调节减速带的升降状态。采用双翼型液压升降结构，可将软态减速带的机械能转化为电能，实现能源存储利用。该减速带奖“慢”罚“快”的工作原则，可在保障通行安全的前提下，将车辆损害、噪声污染降至最低，提高交通稳静化水平，体现了智慧交通的公平性。结果表明，该减速带在提高交通安全、改善驾驶行为、改善交通环境等方面效果显著。

关键词 自适应理论 可升降减速带 反馈调节 能量循环
中图法分类号 U491.5； **文献标志码** A

减速带是一种限速效果较为明显且投资较小的交通安全设施。相关资料表明[1]：英国在公路上设置减速带后，85% 车速降低了 16 km/h，所设道路上事故数减少了 71%，周围道路事故数减少了 8%。日本根据本国地域的实际情况，广泛采用热塑震动减速带来保证行车安全。我国很多地区公路管理部门和维护单位也大量使用减速带进行通行车速的强制控制，主要设于高等级公路特殊路段、收费通道、城镇路口、学校、医院等。现有的减速带设施基本实现了传统限速功能，但同时引发了一些问题，主要表现在：缺乏“人性化”设置，减速带“滥用”、缩短汽车寿命、噪音扰民等。目前减速带研究热点已经由发挥传统的限速作用发展到了其他科技领域，伦敦计划利用汽车驶过路拱(路面凸起减速带)时产生的能量发电，供给路灯、红绿灯和路牌的照明，虽然这些路拱噪音低、舒适度高，但其应用及功能范围较狭窄；广州、青岛等城市在路面上绘制视觉立体减速带，通过对司机的心理暗示，使驾驶者主动减速，此种方式能在不颠簸的情况下达到控制车速的效果，但主要依靠驾驶员自觉性，其安全性、耐用性、经济性、心里适应性以及夜间减速效果等，都还值得进一步探讨和分析。

基于此，现提出一种基于自适应理论的可升降减速带，在有效控制车速的前提下，最大限度地减小减速带的负面影响，实现障碍式限速设施的人性化设计。

1 工作原理

自适应减速带根据车速及驾驶员行车意向等信息，智能地调节减速带的升降、软硬状态，使得系统按照奖“慢”罚“快”的工作原则运行。设计主要分为车速检测、信息提取、主控单元、减速带四个模块组成。车速检测模块检测驶进车辆在不同位置定点的车速信息，至少两次以上。信息提取模块对所获车速进行数据分析，剔出数据噪声点，所获第一次车速信息与路段限制速度比较，得出行车安全度；采用最小二乘法进行简单的数据拟合，分析得出驾驶员的加减速意向。主控单元根据上述行车安全度的判断结果执行减速带升降指令，根据行车加减速意向执行软硬状态切换指令，使得减速带在升起硬态、升起软态以及降下三种状态之间灵活切换，具体工作流程如图 1 所示。

2 车速检测及信息提取模块

2.1 信息获取方法

车速检测模块是自适应减速带中的一个重要模块，主控单元需要根据实时的行驶信息，动态地对减速带状态进行调整，因此，获得精确、可靠的车速信息对于自适应减速带的功能实现是基本的先决条件。目前应用较多的车速检测技术主要有：感应线

2017 年 5 月 8 日收到 山东省自然科学基金(ZR2014EEP023)资助
第一作者简介：魏金丽(1982—)，女，山东滨州人，硕士，讲师。研究方向：智能交通、交通规划。E-mail：wjl827025@163.com。

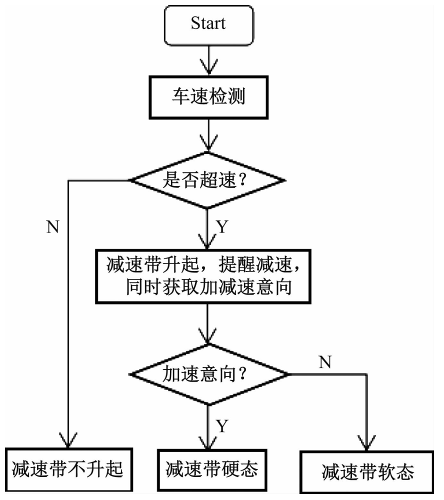


图 1　工作流程图

Fig. 1　The flow chart of work

圈检测、视频检测、微波检测以及红外传感、超声波雷达等技术。感应线圈检测技术作为目前最常用的测速方法,技术成熟、精度较高,系统运行稳定,因此,采用感应线圈测速。但线圈易被重型车辆损坏且维修不便,所以针对重型车流量较大的野外公路、维修困难的城市主干道,可采用雷达检测器。根据减速带的工作环境及功能,正确地选择车速检测的方法,有利于自适应减速带功能的实现。

2.2　测速点定位

车速检测模块需测量车辆在两个以上不同测速点的车速(图 2),在第一个测速点获取驶进车辆的车速,根据行车安全度调节减速带升降。为了使驾驶员在看到减速带升起后,有足够的距离降速,根据运动学模型,提出了减速带与一号测速点的距离计算模型:

$$s = v_d t + \frac{(v_c^2 - v_d^2)}{2a_0} \tag{1}$$

式(1)中,s 为减速带至一号测速点的距离; v_d 为该路段的设计速度;t 为反应时间与制动协调时间共计 0.7 s[2]; a_0 为安全制动加速度,干燥沥青路面取 6.5 m/s^2[3];v_c 为通过减速带的最佳行驶速度,取 15 km/h 或者 20 km/h[4]。

信息提取模块根据多个测速点分析得出驾驶员行车意向,主控单元在获取最后一个测速点的车速信息反馈后,即刻执行减速带的软硬切换指令,对无减速意向的车辆进行适当提醒或惩罚,对有明显减速意向的车辆则减少了车辆颠簸。为获取准确的加减速意向,最后一个测速点需尽量靠近减速带,避免在测速区外汽车突然减速,主控单元判断错误的情况发生,设计速度为 60 km/h 的公路,此段距离可设为 1 m。

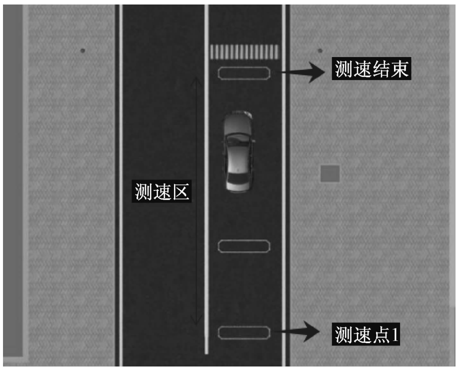


图 2　测速点定位示意

Fig. 2　The position of Measurement point

3　减速带结构设计

3.1　方案比选

国内已出现可升降减速带想法的提出,现有的专利发明其装置和功能各不相同,主要分为液压式、电磁式、机械式等,较为成熟的发明专注于发电功能的较多,考虑实际车流情况的较少,其防水性、安全实用性等仍待商榷。

(1)机械式减速带发电装置采用齿轮传动,传动效率高,工作可靠,结构紧凑。但制造和安装精度要求较高,价格昂贵,啮合的齿面间摩擦及磨损较大,特别需要考虑齿轮的润滑,装置维护不易。

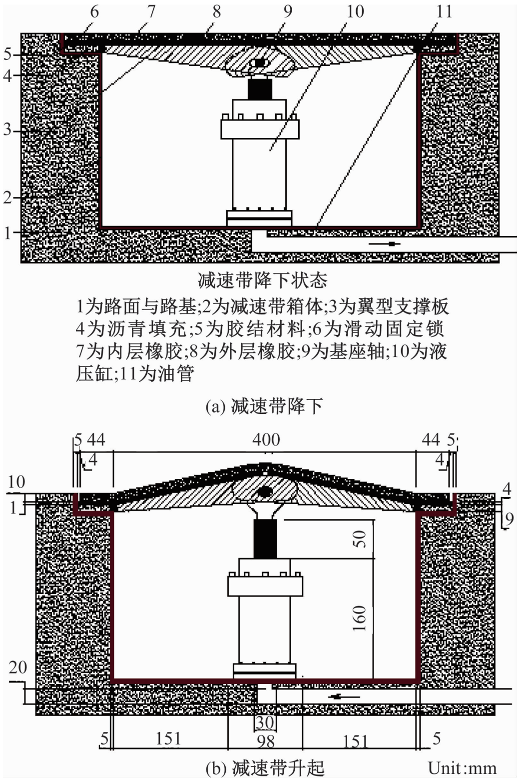
(2)利用压缩空气的气动式减速带,其特征在于气动控制动作迅速,维护简单,只需要在路面设置空气囊,对路面破坏较小。但由于空气的可压缩性大,气压传动系统的稳定性差,控制措施要求高。

(3)电磁式可升降减速带[5],其特征在于利用车辆碾压减速带产生的振动能量,通过导向柱及磁棒的上下切割磁感线,来产生感应电流。该装置主要功能是发电,并未考虑实际驾驶情况,且该装置防水强度较低,一旦浸水将整体瘫痪,实用性不高。

液压式升降结构,传递运动均匀平稳,能够快速实现减速带状态切换。布局安装灵活,液压泵、蓄能器等放置于路侧,维护较为容易。在实现升降功能的同时,可利用液压油的循环,将软态减速带机械能转换为电能。考虑到自适应减速带的工作环境及功能需求,选择液压式升降结构带作为减速带的传动装置。

3.2　减速带结构设计

减速带模块主要包括升降结构与能量循环两部分。其中,升降结构部分主要包括防水橡胶顶盖、双翼型支撑基座、液压缸和保护箱体四部分。综合考虑平顺性和行车安全性,减速带横断面采用抛圆相切的形式[6]。双翼型支撑基座同时满足了升、降两态的工作要求,如图 3(a)和图 3(b)所示。



(a) 减速带降下
(b) 减速带升起

图 3 自适应减速带结构图

Fig. 3 The structure of self-adaption hump

减速带升起时,减速带中央支撑件向上拱起,顶部呈抛圆相切形状;当减速带降下时,与地面平稳衔接,保证汽车无障碍通过。

两个翼型支撑基座呈齿状,两板之间由连接杆搭接,左右相互啮合,齿厚 25 mm,齿深 175 mm,留出间隙宽 27 mm 避免齿间相互摩擦。翼形板尾部与箱体基座轴活动铰接,可根据连接杆受力而转动。液压缸推动翼形基座内的连接杆,为减速带升降提供助力,液压缸的活塞杆降下时减速带与地面水平;活塞杆升起时减速带凸起,凸起减速带存在软、硬两种状态。减速带软态时,能量回收部分利用液压油的流动实现减速带机械能与电能的转换。防水橡胶顶盖覆盖于翼形基座上,通过双层橡胶相对滑动进行排水、密封。图 4 为自适应减速带模型图。

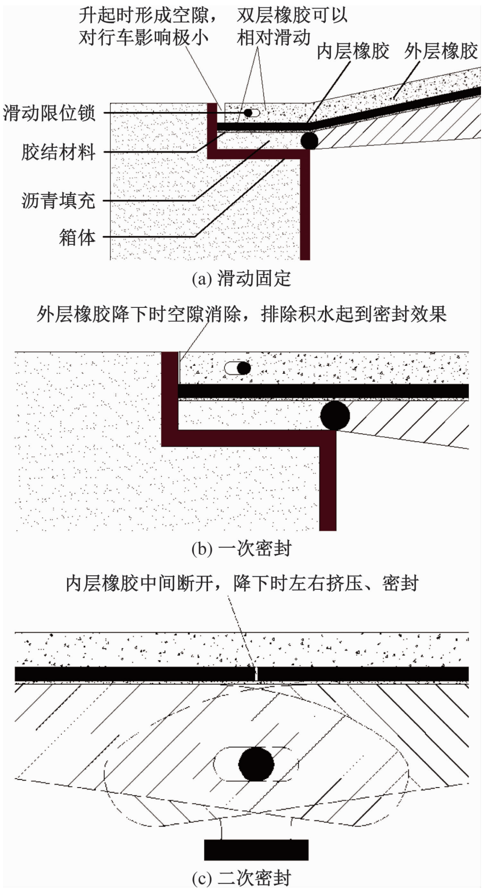
图 4 自适应减速带模型图

Fig. 4 The conceptual model of self-adaption hump

3.3 减速带防水设计

双层防水橡胶顶盖覆盖于翼形基座上如图 5(a),外层采用稀土顺丁橡胶,硬度、抗疲劳特性较高,直接承载;内层采用厚度为 1 mm 的丁基橡胶,中间断开,分布于结构两端,上表面涂覆聚四氟乙烯膜[7],减小与外层橡胶之间的摩擦,下表面采用胶结材料将其粘接在翼形平面板和箱体上。

外层橡胶采用滑动限位锁固定,通过两层橡胶相对滑动到达密封、防水效果。减速带升起时,外层橡胶随翼形板升起而滑动,产生 4 mm 的滑动间隙,对行车影响可忽略,此时内层橡胶的最高端布置高于路面,防止路面积水渗入至翼形板层;减速带下降时,外层橡胶滑动挤压,可将空隙中的水或异物挤压出去,起到一次密封作用,而内层橡胶中间断裂部分相互挤压,形成二次密封如图 5(b)和图 5(c)所示,为了便于观察,图中留有间隙。另外,减速带箱体与路基之间采用沥青填充,箱体底部采用锚固方式将整套装置固定于路槽中,减小对路基路面的破坏。



(a) 滑动固定
(b) 一次密封
(c) 二次密封

图 5 自适应减速带细节图

Fig. 5 The detail of self-adaption hump

为减小双层橡胶的摩擦力,在基本油封方法的基础上,以静态密封的方式,在内层橡胶表面涂覆聚四氟乙烯膜,采用反应式处理方法,使得处理层与橡

胶表面的密着性优良,不易出现剥离现象,可提高橡胶防水层的耐磨性与实用性。

4　能量回收装置设计

4.1　功能实现

能量回收部分,主要包括调速阀、蓄能器、液压马达、变速器、发电机、溢流阀、油箱、液压泵等,利用液压油的循环流动,实现减速带升降功能和软态减速带机械能的回收功能(图 6)。

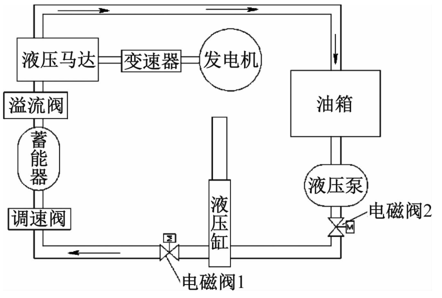


图 6　油路循环示意图

Fig. 6　The oil-way circulation of self-adaption hump

升降装置根据驾驶员的驾驶行为工作。当车辆超速行驶时,主控单元执行升起指令,电磁阀 1 断电、2 通电,液压泵中流出的油液补充至两个液压缸,减速带迅速升起,升起高度控制在 4 cm 左右。减速带升起后依据驾驶员加减速意向执行下一个指令,若驾驶员没有减速意向,则电磁阀 1、2 处于断电状态,即此时减速带呈硬态,提醒驾驶员减速;若驾驶员减速,则电磁阀 1 通电、2 断电,减速带处于软态,利用汽车压力进行液压发电。

液压发电原理:车辆压过软态减速带时,经液压缸推动产生较高的油压和流速,油液经过调速阀进入蓄能器,将高压油储存在蓄能器里,当蓄能器油压达到溢流阀设定的压力值后,液压油从溢流阀流出,带动液压马达进行转动,转速通过变速器得到进一步提高,使发电机可以在较高功率下进行发电,达到能量转化的效果。而经液压马达流出后的低压油则流回油箱,用来进行下一次的减速带工作。液压泵的电能供给可选择液压发电机供能,也可并入电网进行能量供给,主要根据减速带实地运行效果而决定。

4.2　液压装置技术说明

自适应减速带的升降结构主要由液压缸和翼型支撑件组成,而液压缸作为液压传动部分关键零部件之一,其动作可靠性直接影响液压系统工作性能好坏。设计中采用“RCH—202”型号的液压缸,单缸的承载能力为 20 T,我国路面设计方法中,选用双轮组单轴载 100 kN 作为标准轴载,即承载能力为 10 t,由此可知两个液压缸完全可以满足荷载承重要求。

根据采用的液压缸规格:内径为 30 mm,高度为 160 mm,液压泵的输油流量为 14 000 mL/min,减速带升起高度为 40 mm。

油缸无杆腔作用面积为

$$S_1 = \left(\frac{30}{2}\right)^2 \pi \tag{2}$$

液压缸进油速度为

$$v = \frac{Q_b}{S_1} = \frac{14\ 000 \times 1\ 000}{\left(\frac{30}{2}\right)^2 \times 2\pi} = 9\ 903\ \mathrm{mm/min}。$$

则减速带升起的时间为

$$t = \frac{H}{v} = \frac{40}{9\ 903}\ \mathrm{min} = 0.004\ \mathrm{min} = 0.24\ \mathrm{s}。$$

设计速度为 40 km/h 的道路,由式(1)可得,第一个测速点至减速带的距离为 15.94 m,允许减速带反映的时间为 1.44 s,装置所用的液压缸的升降时间为 0.24 s,其反应速度完全能够满足使用要求。

4.3　液压发电量估算

车辆压下柔态减速带时,压下的液压油体积约 56.5 mL,发电机选择 Y—132M1—6 异步电动机代替,由参数可知,输出功率 4 kW,额定转速960 r/min 的电动机,效率 84.0% ,功率因数 0.77,则液压马达带动电动机正常工作所产生的电量[8]:

$$W = \left(0.77 \times \frac{0.24}{60}\right)\ \mathrm{kW \cdot h} = 0.003\ 2\ \mathrm{kW \cdot h}。$$

若采用并联蓄能器、发电机的方法,多则电量产出可成倍增加,在此仅做保守计算。

5　应用前景

目前,ITS 的价值链与产业链还在探索中,交通稳静设施与物联网[9]联合,为人们的出行生活服务是必然趋势,自适应减速带正是一种简单的车路协同稳静设施。自适应减速带综合考虑局部路段的安全性与道路服务水平之间的关系,使两者达到有机协调,对于车速在限速范围内的车辆,减速带降下,减少车辆频繁启停造成的环境污染[10]。在对减速带主控单元设计时,充分结合了驾驶员的行车心理,依据驾驶员行驶意向对减速带软硬状态进行反馈调节,使限速设施更加科学、人性化。充分发挥减速带限速功能的同时,避免一般减速带所普遍存在的负面影响。

自适应减速带采用的所有技术在国内外研究中广泛采用,技术十分成熟,理论上是可行的。整体适应性好,应用范围广,对于减速带可设、可不设的尴尬地段、学校之类的分时段限速路段、易受雾雪天气

影响的交通事故黑点路段均能适用,综合效益较高,有利于改善交通整体环境,结合可持续发展的主题,实现绿色交通。

参 考 文 献

1 王剑波,叶燕仙. 城市道路减速带的人性化设置. 道路交通与安全,2007;7(3):42—44
Wang Jianbo, Ye Yanxian. Study on humanity installment of urban road speed-control hump. Road Traffic & Safety,2007;7(3):42—44

2 徐吉谦,陈学武. 交通工程总论. 北京:人民交通出版社,2008
Xu Jiqian, Chen Xuewu. Fundamentals of traffic engineering. Beijing: China Communications Press,2008

3 Eddie Wren. Stopping Distances. http://www. drive and stay alive. com/stopping distances/#stop dist table for dry road

4 张韦华,魏 郎,余 强. 道路减速带对车辆平顺性和安全性的影响. 长安大学学报,2008; 28(4):95—98
Zhang Weihua, Wei Lang, Yu Qiang. Effect of road hump on driving comfort and safety of vehicles. Journal of Changan University,2008; 28(4):95—98

5 孔凡国,吴冠霖. 电磁式公路减速带发电装置理论研究. 机械设计与制造, 2014;(4):76—78
Kong Fanguo, Wu Guanlin. Theoretical research of speed controlling and electricity generating humps by electromagnetic. Machinery Design & Manufacture,2014;(4):76—78

6 邱望标,黄 克,黎 熊,等. 减速带形状对汽车振动的影响分析. 橡胶工业,2008;55(11):657—659
Qiu Wangbiao, Huang Ke, Li Xiong, *et al*. Effect of the shape of decelerating belt on automobile vibration. China Rubber Industry,2008; 55(11):657—659

7 郑文博. 低摩擦橡胶油封材料的研究. 特种橡胶制品,2010;(3):26—28
Zheng Wenbo. Study on the low friction rubber seal compounds. Special Purpose Rubber Products,2010;(3):26—28

8 吴冠霖. 液压型减速带发电装置理论分析与研究. 广东:五邑大学. 2011
Wu Guanlin. Theoretical research of speed controlling and electricity generating humps by hydraulic. Guangdong:Wuyi University. 2011

9 欧冬秀. 交通信息技术. 上海:同济大学出版社,2007
Ou Dongxiu. Transportation information technologies. Shanghai: Tongji University Press,2007

10 艾成祥,崔有正,牟海晶,等. 一种基于现代测试技术的奖惩式智能减速带设计. 齐齐哈尔大学学报,2017;33(1):51—53
Ai Chengxiang, Cui Youzheng, Mou Haijing, *et al*. A design of the rewards and punishment type intelligent speed humps based on the modern testing technology. Journal of Qiqihaer University,2017;33(1):51—53

Design of Adjustable Speed Bump Based on Adaptive Theory

WEI Jin-li, YANG Jin-shun, HE Ji-xu, HAN Le-wei, BAI Kun, ZHENG Tian-tian

(School of Mechanical and Automotive Engineering, Qingdao University of Technology, Qingdao 266520, China)

[**Abstract**] The conventional road speed bumps has the shortcomings such as the irregularity of the vehicle, the damage to the vehicle and the poor comfort of the passenger. In order to reduce the negative influence of the speed bumps setting, a kind of adjustable speed bump based on the adaptive theory has been proposed. The speed bump can adjust the lifting and lowering state of the deceleration zone according to the vehicle speed information and the identification of the driving intention of the driver. The adjustable speed bump has double-wing hydraulic lifting structure, the soft-state slowdown with the mechanical energy into electricity, to achieve energy storage and utilization. The speed bumps has the principle of reward safe driving and punishing the radical driving. It can reduce the damage and noise pollution to the lowest level and improve the level of traffic stability, which reflects the fairness of ITS. The results show that the adjustable speed bump has remarkable effect in improving traffic safety, regulating driving behavior and improving traffic environment.

[**Key words**] adaptive theory the adjustable speed bump feedback modulation energy cycling