

公路收费站交通节能减排效能研究

杜进伟

宁夏交通建设股份有限公司 宁夏 银川 750000

摘要: 针对减速通过高速公路收费站车辆的能耗损失问题,以ETC (Electronic Toll Collection) 技术为基础,结合移动支付、移动位置服务和电子车牌识别技术,来减少通行延误,降低车辆起停能耗。实验选取渝蓉高速上7个主干收费站为研究对象,依据标准油耗折算法,分别从油耗、标煤量、CO₂排放量三个指标对人工收费和ETC移动支付两种方式的能耗情况进行对比。研究表明,ETC移动支付方法比人工收费的油耗节省了16.1%、标煤量节省了17%、CO₂的排放减少了16.5%。

关键词: 公路工程; 节能减排; ETC; 移动支付; 收费站

引言

随着汽车运输业的发展,人工收费方式(MTC)逐步被ETC收费取代,但ETC在通行能力方面还存在着一定的问题。ETC通道需要安装相应的设备成本较高,车辆行驶行为复杂性大,会导致车辆通过识别区域时未能识别,及卡上余额不足等问题。因此,使用ETC移动计费服务平台,提高收费站通行能力做到一定程度的节约能源减少车辆对于环境的污染。

近年来,国内外研究学者对高速公路不停车收费问题展开了深入的研究。许国庆等^[8]认为ETC系统其最明显的节能优势体现在燃油节约方面。王清洲等证明ETC车道增加和无感支付均可显著减少污染物排放量。翁剑成等提出了相关的公式用于计算ETC通道的效率。陈雷雷等^[1]提出ETC系在交通运输过程中有着十分重要的作用。罗梓铭等^[3]采用M/G/K 队论模型对不同ETC使用率下的通行能力进行分析。林培群等认为通过一些数据的分析可以有有效的疏通交通减少堵车。冯尧等^[2]基于排队论模型对ETC车道进行分析,为高速公路路口设置最佳ETC车道数目提供模型依据。李娟等^[4]运用北斗助力高速公路流水数据融合实现路径拟合,真实还原行车轨迹,解决按实际路径收费问题。王鑫等构建了陕西省ETC门架系统运行监测平台,实现了收费业务的全业务周期智能感知和监测预警。Fontes T等^[10]认为传统和配备电子收费系统的高速公路系统,排放成本之间的差异可能接近50%。Olympia Odos等^[11]正在将现有的传统收费广场与安装在选定入口和出口坡道上的ETC龙门架相结合,从而形成一个完全封闭的ETC或“混合”收费系统。

综上所述,为了更好的改善ETC收费车道存在的问题,应从当前的网络消费行为发展趋势出发,提出基于

ETC移动支付的不停车收费系统,从而实现减少车辆怠速时间和停车次数的目的。

1 通行费移动支付模式设计原理

1.1 ETC移动支付方法

ETC移动支付主要是通过车牌识别技术、定位以及快速支付系统来实现对于交通运输压力的缓解。高速公路移动支付将车辆、驾驶员实名认证,简化收费方式使得车辆达到节能减排效果。车辆驶出高速公路时管理中心按照车辆行驶的轨迹和对应的收费标准,通过移动通信技术给驾驶员发送详细的费用明细,驾驶员在下次上高速公路之前缴清上一次的费用即可正常在高速公路上行驶。ETC移动支付流程图如图1所示。

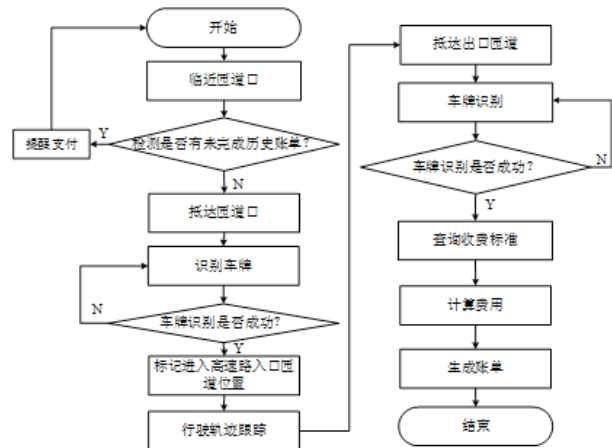


图1 高速公路ETC移动支付流程图

采用ETC移动支付方式可以有效的降低综合运营成本,提高通行效率。当车辆驶入收费路段时,系统会自动检测出是否有未完成的历史账单。若有未完成账单则系统会提醒缴费,无未完成账单则车辆抵达匝口,并且在匝口处定位记录车辆驶入的位置。车辆完成这次出行

后，按照车辆行驶的轨迹得出相应的收费标准计算费用然后生成账单。

1.2 模块功能分析与架构设计

驾驶员按照高速公路APP提供的服务，通过支付平台完成计费，对支付系统的功能进行分析。

车道控制系统进行作用时，首先识别车牌号，然后经过一些数据分析，利用控制系统对车辆进行放行或阻拦。

(1) 车牌识别，在收费站出入口处安装高速摄像机，通过抓拍技术提取车辆车牌和车型等信息，发送至入口车道控制系统并通过数据匹配验证车型以及收费标准。

(2) 信息匹配与显示，收费站出口处设置显示屏，收费站出入口的相关车辆信息匹配以后，就会放行，显示；如若不相匹配，需找工作人员进行处理。

(3) 车道控制，主要是通过有关内部程序，将闸机进行智能化的调控。车道开关的控制同样有相关控制系统，如出先问题就会通过报警器告知，有时需找工作人员进行处理。

2 车辆延误分析

2.1 收费站延误

车辆在通过收费站时，若交通量较大，由于收费延误会产生排队现象，排队过程中各种车辆的延误均由三个部分构成^[12]：

(1) 车辆进入收费站的减速时间：

$$t_1 = \frac{v_0}{3.6a_1} \quad (1)$$

(2) 车辆在收费站的平均逗留时间：

$$W = E(t) + T_q \quad (2)$$

(3) 车辆接受完服务后加速离开的时间为：

$$t_2 = \frac{v_0}{3.6a_2} \quad (3)$$

式中， v_0 为正常车速 (km/h)； a_1 、 a_2 是车辆的减速度与加速度 (m/s^2)； $E(t)$ 是服务时间的期望值 (s)； T_q 是车辆的平均排队时间 (s)。

分析得到车辆经过收费站的总延误：

$$d = \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{3.6m}{v_0} \right) \left\{ \lambda E(t) + \frac{\lambda^2 [E(t)]^2 + \lambda^2 D(t)}{2[1 - \lambda E(t)]} \right\} + \frac{v_0}{7.2} \left(\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} \right) \quad (4)$$

式中， λ 为平均到达率 (pcu/s)； m 是车队长度换算系数 (m/veh)； $D(t)$ 是服务时间的方差 (s^2)。

2.2 延误油耗计算

车辆通过收费站时，一般是两个阶段的油耗过程^[13]。若系统开启 n 条车道数，平均到达率是 λ ，平均服务率是 μ ，则平均等待顾客数是 \bar{L} ，顾客平均逗留时间是

T_s 。通过前人文献得到了一些车辆的平均油耗量，这里取0.23ml/s和0.69 ml/s。由此得出损耗的费用。

$$C_k^1 = 0.23 \cdot T_s \cdot c_1, C_h^1 = 0.69 \cdot T_s \cdot c_2 \quad (5)$$

$$T_s = f(\lambda, \mu, n) = \frac{(n\rho)^n \rho}{n!(1-\rho)^2 n\mu} P_0 + \frac{1}{\mu} \quad (6)$$

式中： C_k^1 、 C_h^1 表示单车客货车在系统中的怠速油耗，元/辆； c_1 、 c_2 表示汽油与柴油价格，元/ml； T_s 是系统内平均逗留时间 s ； ρ 表示系统服务强度， $\rho = \lambda/\mu$ ； P_0 表示系统内没有顾客的概率。

$$P_0 = \left(\sum_{k=0}^{n-1} \frac{\rho^k}{k!} + \frac{\rho^n}{n!(1-\rho/n)} \right)^{-1} \quad (7)$$

通常情况下，一辆普通汽车，启动需要大约2分钟。对于运载货物或者是搭载乘客的较大型的车来说，其启动油耗，在正常情况下启动油耗为27.6ml和82.8ml。排队的车辆数为 \bar{L} ，那么在单车道中等待的车辆的数量为 \bar{L}/n ，同样车辆启动加速次数也为 \bar{L}/n 。所以油耗计算公式可以表示为：

$$C_k^2 = 27.6 \cdot c_1 \cdot \bar{L}/n, C_h^2 = 82.8 \cdot c_2 \cdot \bar{L}/n \quad (8)$$

$$\bar{L} = \rho + \frac{\rho^{n+1}}{n!n} \cdot \frac{P(0)}{(1-\rho/n)^2} \quad (9)$$

式中： C_k^2 、 C_h^2 表示单车客货车在系统中的启动油耗费用，元/辆； \bar{L} 表示系统中平均等待顾客数； c_1 、 c_2 意义同上。

2.3 年均节能量测算

根据收费方式的不同，车辆通过收费站时的油耗会有所变化。人工收费出入口，车辆从到收费站开始会经过“减速停车-原地怠速-缴费-加速驶离收费站”四个过程，通过一系列复杂的操作，能够针对具体情况进行加速减速的控制。由于不同车辆油耗不同，ETC通道可以智能化的节油。使用ETC移动支付的年均节能量测算，假定每日ETC移动支付车道通过车次为 m_i ($i = 1, 2, 3, \dots$) 为第 i 天的通车次数， p_i ($i = 1, 2, 3, \dots$) 为第 i 天单次进口节能量， q_i ($i = 1, 2, 3, \dots$) 为第 i 天单次出口节能量， λ 为折算系数，参考前人文献知，计算年均节油量、节煤量、节 co_2 量的折算系数分别为1、1.4714、3.1914。通过ETC移动支付的年均节能量测算得出 J_{o, c, co_2} 为ETC移动支付的年均节能量 (油、煤、 co_2)，其中 J_o 表示ETC移动支付的年均节油量、 J_c 表示ETC移动支付的年均节煤量、 J_{co_2} 表示ETC移动支付的年均减少 co_2 的排放量：

$$J_{o, c, co_2} = \sum_{i=1}^n m_i (p_i + q_i) \lambda \quad (10)$$

3 实例分析与对比

以成渝高速公路复线重庆段的实测数据为研究对象

进行进一步论证，其现有收费站点的布置图（如图2所示）。通过本文所提出的ETC移动支付方法和MTC方式

在相同条件下进行节能减排的分析与对比。

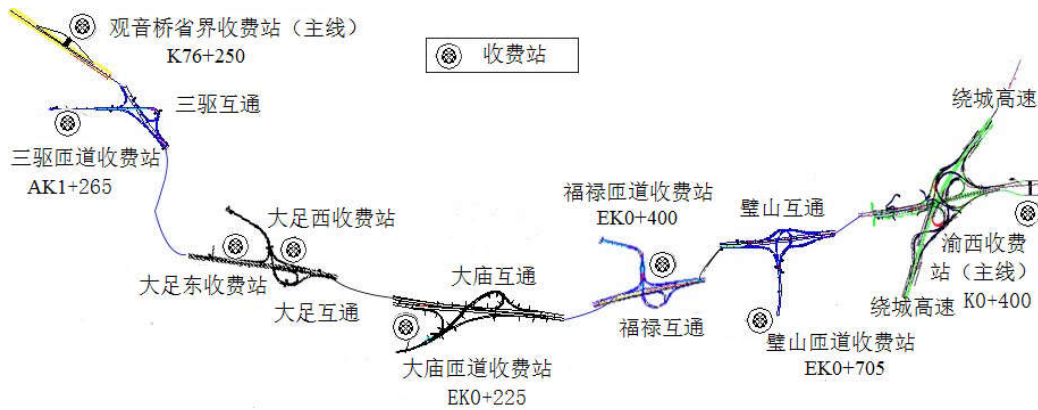


图2 成渝高速公路重庆段收费站点图

按照相关的数据可以得出相应的结果，即普通车型的车辆大概油耗是0.07L/Km,而在怠速时油耗大概为0.00013L/min。将车行驶通过站口的时间与等待的时间相加起来。从而得出ETC车道与MTC车道两种不同通道的油耗费用。与前面的条件相同的情况下，油耗计算见表1。

表1 工况转换原则 (单位: ml)

模式类别	通行产生的油耗	怠速等待的油耗	总油耗	节省油耗
ETC	7	0	7	-
MTC _入	5.7	9.6	15.3	8.3
MTC _出	5.7	22.4	28.1	21.1

由以上的结果可以看出，人工收费通道中车辆怠速油耗是远远大于ETC通道的。而ETC通道几乎不存在怠速油耗，每辆车通过ETC平均消耗7ml油。

根据对整条路的调查共有7个收费站点，调查数据显示2014年小客车车流量为20631辆/日，其中ETC移动支付车道日平均使用量为7564次。2015年小客车车流量为20939辆/日，ETC移动支付车道日平均使用量为7658次。2016年小客车车流量为21049辆/日，ETC移动支付车道日平均使用量为7757次。使用移动算术平均法通过这三年的数据可以预测出未来的数据。移动平均法的计算公式如下：

$$F_t = \frac{\sum_{i=1}^n A_{t-i}}{n} \quad (11)$$

式中 F_t 表示下一期的预测值， n ($n = 1, 2, 3, \dots$) 为移动平均时期个数， A_{t-i} 是前期的实际值。根据该道路小客车每日的车流量以及ETC移动支付车道日平均使用量可以预测出近几年的通车情况。如图3所示。

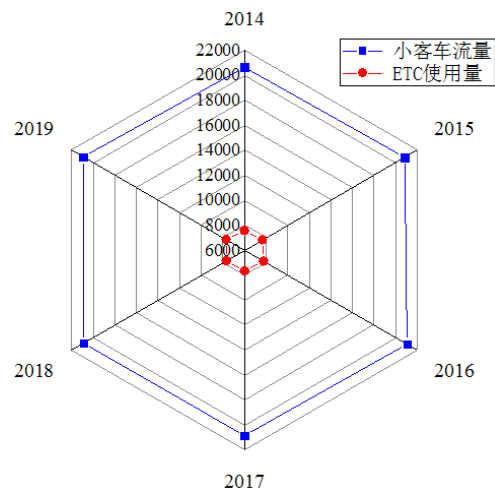


图3 小客车流量与ETC每日使用量图

在其它条件都相同的情况下，高速公路通过收费站使用ETC移动支付方式的能耗图，如图4所示。

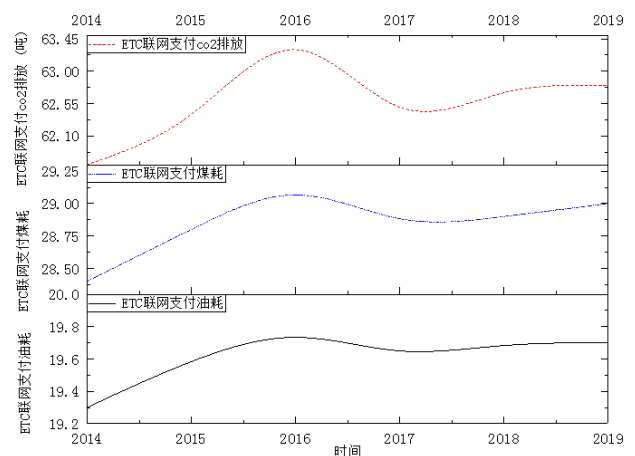


图4 ETC移动支付能耗图

在其它条件都相同的情况下，高速路收费站点在人

工收费的基础上使用ETC移动支付方式,所节省的能耗如图5所示。

4 结论

基于高速公路收费的智能化特性,在高速公路上行驶的车辆通过ETC移动快捷支付,不仅可以解决收费站拥堵的问题,同时也解决了通过收费站时“减速停车-原地怠速-缴费-加速驶离收费站”这个环节可以有效的节约燃油消耗和减少尾气排放。提出一种适用于高速公路不停车收费的方式,实例验证结果表明以实测数据为例在同等情况的条件下,ETC移动支付比现有的人工收费方式的油耗节省了16.1%、标煤量节省了17%、CO₂的排放量减少了16.5%。

参考文献

- [1]许国庆.高速公路电子不停车收费系统(ETC)的节能探究[J].科学技术创新,2019(24):76-77.
- [2]王清洲,栾海敏,范鑫,陈佳梦,焦城煜.高速公路主线收费站节能减排测算模型与实例分析[J].环境工程,2019,37(06):184-189+164.
- [3]翁剑成,荣建,王梦佳,刘力力.ETC系统的环境效益评价测算模型[J].交通运输系统工程与信息,2014,14(05):55-60+80.
- [4]陈雷雷.高速公路电子不停车收费(ETC)系统应用研究[J].信息与电脑(理论版),2020,32(19):92-94.