

# 基于全球定位系统的典型重车行驶性能

付强<sup>1</sup>, 李晔<sup>2</sup>, 杨晓芳<sup>3</sup>, 石心怡<sup>2</sup>

(1. 同济大学 测绘与地理信息学院, 上海 200092; 2. 同济大学 道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 201804; 3. 上海理工大学 交通系统工程系, 上海 200093)

**摘要:** 通过基于全球定位系统的实际调查, 得到了不同比功率、不同装载情况下的重车行驶性能曲线。研究发现, 当坡度为 2%、坡长为 800 m 时, 空载、实载、超载的重车速度分别下降 5, 13, 20 km · h<sup>-1</sup>; 坡度为 3% 时, 对应的数值分别为 5, 25, 44 km · h<sup>-1</sup>。与美国通行能力手册中的典型重车行驶曲线对比发现, 在相同的比功率、坡度为 2% 情况下, 我国重车的速度比美国重车小 10 km · h<sup>-1</sup>, 而超载车辆的速度则较美国重车小 30 km · h<sup>-1</sup>; 在坡度为 3% 情况下, 对应的数值分别是 11, 36 km · h<sup>-1</sup>。

**关键词:** 重车; 行驶性能曲线; 车辆折算系数; 全球定位系统; 坡度

**中图分类号:** U491

**文献标志码:** A

## Performance of Typical Heavy Vehicle with Globe Position System

FU Qiang<sup>1</sup>, LI Ye<sup>2</sup>, YANG Xiaofang<sup>3</sup>, SHI Xinyi<sup>2</sup>

(1. College of Surveying and Geo-informatics, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China; 3. Department of Traffic System Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

**Abstract:** The performances of typical heavy vehicles were collected by an investigation with globe position system (GPS). The influence rules of gradient and loading situation were studied. The result shows: when the gradient is 2% and slope length is 800 meter, the speed drops of empty, fully loading and overloading heavy vehicle are 5 km · h<sup>-1</sup>, 13 km · h<sup>-1</sup>, and 20 km · h<sup>-1</sup> respectively, the values turn out to be 5 km · h<sup>-1</sup>, 25 km · h<sup>-1</sup>, and 44 km · h<sup>-1</sup> when the gradient is 3%. Comparison between performance curves of heavy vehicles in China and American Highway Capacity Manual shows: when the gradient is 2%, the speed of fully loading heavy vehicles in China is 10 km · h<sup>-1</sup> lower than

heavy vehicles in America while the speed of overloading heavy vehicle is slower by 30 km · h<sup>-1</sup>; when the gradient is 3%, the number is 11 and 36 km · h<sup>-1</sup> respectively.

**Key words:** heavy vehicle; performance curve; passenger car equivalent; globe position system; gradient

近年来, 在中国某些快速道路(包括高速公路、城市快速路以及城区与郊区交界的快速环线)路段, 由于大量重型车辆的存在, 常出现运行交通量并没有达到设计通行能力而实际交通状况却拥挤不堪的现象, 并迫使这些快速道路提前进入改造期, 大大影响快速道路社会效益正常发挥的同时, 也对我国快速道路交通基础设施的科学规划建设、高效运营管理造成很大冲击。很多学者指出, 重车的影响被严重低估是造成这一问题的根本原因。根据我国实际交通情况, 制定合理的重车影响参数值, 从而减少公路建设中的决策失误, 已经迫在眉睫。实际上, 重车对交通流的影响主要原因在于, 重车加减速及保持速度的性能通常比小客车差, 从而使得交通流内跟车、换道行为与常规交通流不一致, 而且这种影响是随时空动态变化的。

为表征重车对交通流的影响, 研究者提出车辆折算系数(passenger car equivalent, PCE)概念, 从而将混合交通流转化为单一交通流进行研究。国际上对重型车辆的影响的研究, 以美国通行能力手册(Highway Capacity Manual, HCM)为代表<sup>[1]</sup>, 其基本思路为通过车辆折算系数将重型车辆折算为标准车辆进行研究。而确定车辆折算系数时, 首先通过调查得到典型车辆在不同坡度、坡长下的行驶性能曲线, 然后在对应实际的坡度、坡长时通过组合坡段求解换算成等效坡度和坡长后再确定车辆折算系数。

收稿日期: 2013-09-12

基金项目: 国家自然科学基金(51008196, 51308409); 中国博士后科学基金(2013M541545)

第一作者: 付强(1979—), 男, 高级工程师, 工学博士, 主要研究方向为交通行为和交通信息。E-mail: sdfuq@126.com

通讯作者: 李晔(1974—), 男, 教授, 博士生导师, 工学博士, 主要研究方向为交通规划和交通信息。E-mail: liye74@263.net

车辆折算系数概念提出后,很多学者从不同角度进行了研究,研究的焦点和不同之处在于等效标准、采用方法、影响因素和影响规律.近年来,PCE 的研究应该面向服务水平已经成为研究者的共识<sup>[2]</sup>,但由于服务水平的指标是多方面的,且这些不同指标之间并不能完全对等,因此,车辆折算系数的研究也存在多种,如基于密度<sup>[3-4]</sup>、延误<sup>[2]</sup>、出行时间<sup>[5]</sup>、车头时距<sup>[6]</sup>等.

我国的相关研究起步较晚,较有代表性的研究为 20 世纪 80 年代由交通部公路科学研究所主持、南方八省市参加的“混合交通双车道公路设计通行能力研究”,其采用方法为基于实际观测数据的多元回归分析方法.而在设计阶段所采用的《公路工程技术标准》则简单将车辆类型分为 5 类,每类车型对应一固定不变的车辆折算系数<sup>[7]</sup>.这无法反映实际重车的影响,特别是在复杂地形条件下.而国内学者的相关研究仍集中于等效标准的选取上<sup>[2,6]</sup>,对我国重车的实际行驶性能不足的影响重视不够.相关研究的滞后,使得在道路设计阶段,设计人员不得不直接参考通行能力手册中的数值,由此带来相当大的设计误差和投资浪费.因此,亟需根据我国的实际交通组成和地形条件,确立适合我国的通行能力和车辆折算系数体系.而其中一项重要且必须的工作,则是确定我国典型货车的行驶性能曲线.

基于以上考虑,本文调查并得到我国典型重型车辆在不同地形和装载条件下的实际速度变化情况,并与 HCM 中典型车辆的比功率曲线进行对比,进而得出中国重型车辆运行特性与 HCM 中研究的异同.

## 1 调查安排

### 1.1 调查地点选择

为取得当前中国高速公路上重型车辆的实际运行参数,选取广韶高速公路进行实地调查.广韶高速公路是广东与湖南等省市间的重要货运通道,沿线地形条件复杂,上下坡坡度长,弯道多,重车比例高,对研究货运车辆对高速公路通行能力与交通安全的影响具有较强的代表性.

为得到不同车辆类型和不同的装载情况下重车运行的实际参数,在选择调查路段时,要求在调查路段内有较多的上下坡段.选定广韶高速公路 K251 到 K294 标段,即汤塘到太和收费站之间的 40 km 作为调查路段,坡度等基本指标见表 1.

表 1 调查路段坡段参数

Tab.1 Gradients of survey sections

起点桩号	起点标高/m	终点桩号	终点标高/m	坡长/m	坡度/%
251200	38	254250	47	3 050	<1
254250	47	255570	78	1 320	2~3
255570	78	256460	114	890	4.00
256460	114	257150	88	690	-3.79
257150	88	259300	42	2 150	2~3
259300	42	273750	61	14 450	<1
273750	61	274650	88	900	3.00
274650	88	275250	65	600	-3.70
275250	65	276300	54	1 050	-1.10
276300	54	277250	88	950	3.60
277250	88	277900	81	650	-1.10
277900	81	278950	47	1 050	-3.20
278950	47	279700	71	750	3.20
279700	71	280670	60	962	-1.20
280670	60	281360	85	690	3.60
281360	85	282350	110	990	2.60
282350	110	283050	86	700	-3.50
283050	86	285170	69	2 120	<1
285170	69	285650	86	480	3.60
285650	86	286450	57	800	-3.60
286450	57	287380	33	930	-2.60
287380	33	291600	20	4 220	<1

从表 1 可以看出,调查路段内上下坡多.在总计 40 km 的调查路段内,坡度超过 3% 的坡长达到 8.40 km,坡度超过 2% 的有 13.80 km,坡度在 1% 以内的只有 18.94 km.

### 1.2 调查方法

对交通数据的大规模采集国内外很多高校和研究部门都已做过,数据采集方法主要有 2 种:断面观测法和路段观测法.这 2 种方法可以得到一些静态的交通数据如点速度、车型、车头时距、占有率等,但是无法知道同一车辆在不同点的速度变化和运动轨迹.而车载全球定位技术(globe position system, GPS)却正可以弥补普通观测方法的不足,通过 GPS 定位和进一步的分析可以获知典型车辆在不同地形条件下的位置坐标,从而可以得到其运行参数.

本文所采用的具体方法是,在收费站由路政人员协助 2 名调查者进入选中的典型重车,通过问卷调查并结合称重信息得到车辆的相关技术信息,如车辆型号、使用时间、装载情况等,同时用 GPS 记录车辆的位置、时间等信息.

### 1.3 仪器

调查采用的仪器为多功能差分 GPS 接收机,用于接收并处理 GPS 和信标信号,并通过与之相连接的笔记本电脑将接收数据与实际道路参数进行对比. GPS 接收机的差分定位误差小于 1 m(95%置信

度),速度误差小于  $0.05 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

## 2 调查结果分析

### 2.1 车辆参数确定

由于时间和其他方面的限制,且主要目的在于分析典型重车行驶性能随地形的变化规律,而非获得完整准确的我国代表车型行驶性能曲线,所以调查选取了9辆有代表性的车辆进行研究.通过车辆的型号可以查知车辆参数,如表2所示.

在表2中,满载质量包括整备质量和装载质量,而超载率定义为实际满载质量和额定满载质量的比值,因此与通常所指的超载会有所不同.以解放CA5107XP11K2L11为例,其整备质量为9 600 kg,额定装载质量为9 000 kg,而实际装载质量为15 000 kg,为额定装载的1.67倍.之所以定义超载率为满载质量的比值而不是装载质量的比值,是因为影响车辆运行的是其功率与满载质量的比值,即比功率.折算比功率即为车辆额定功率与实际满载质量的比值.

表2 跟驶车辆基本参数

Tab.2 Basic attribute of following vehicles

车辆型号	车辆类型	满载质量/kg		超载	比功率/(kW · kg <sup>-1</sup> )	
		额定	实际		额定	折算
解放 CA5107XP11K2L11	中型厢式货车	18 600	24 600	1.32	8.57	6.48
解放 CA1112P1K2L6A84	中型普通货车	13 820	7 820	0.57	9.26	16.36
青岛 QD5380XXYP1K2L7T4-1	重型厢式货车	41 000	34 000	0.83	4.56	5.51
三菱 FU418U	栏板大货车	8 000	12 000	1.50	21.04	13.97
乘龙 LZ5170XXYMD23P	中型厢式货车	18 680	19 480	1.04	8.18	7.83
红岩 CQ1110T6F22	栏板大货车	10 600	13 800	1.30	13.06	10.00
明威 NHG9481TJZP	重型集装箱半挂车	42 340	48 340	1.14	5.55	4.86
时征 SGC5100XXY	中型厢式货车	16 500	13 000	0.79	9.53	12.09
乘龙 LZ4242MD49	重型半挂牵引车	23 895	51 150	2.14	10.95	5.11

### 2.2 不同车辆运行状况对比

为了将不同车辆的运行数据进行对比,并方便进一步分析,需要将X坐标和Y坐标转换为实际桩号,从而将三维坐标转化为二维坐标.采用的方法是最高点定位的方法,即通过将实际坐标与调查坐标中的最高标高点的桩号设为相同,然后通过调查所得的X和Y坐标得到不同步长的行驶距离,由最高点的桩号和行驶距离向两侧反推,得到其他点的桩号,从而得到不同车辆行驶速度的变化情况,如图1.

从图1可以看出,车辆速度随地形变化明显,速度与标高呈现良好的相关性,但车辆的运行速度除受地形因素影响外,同时还受到其他车辆即交通条件的影响.在上坡处,其他低速车辆形成的移动瓶颈使得跟随车辆被迫降速跟驶,从而速度迅速下降.由于调查车辆多数为超载货车,自身速度已经很小,且在调查时日交通流流量不大(每车道低于500辆),可以认为其他重车的运行只受道路条件的影响.同时,为了排除掉交通条件的影响,对每辆车的运行进行了一致性分析,即在同等道路地形条件下,速度减小幅度是否一致,若不一致,则认为其中较大的速度为重车只受道路地形影响下的车速,而较小的车速则除受道路地形影响外,也受周围车辆影响.

### 2.3 车辆速度波动分析

不同重车正常行驶速度、最低速度和速度均值如表3所示.其中正常行驶速度取其在坡度很小(小于1%)的路段行驶时的速度,最小速度为在其在上坡路段的最小速度,同时在相同地形条件下,若速度减小幅度不同,则取速度较大的一个,因为速度较小的可能是受到其他车辆的影响.

从表3中可以看出,大部分货车的正常行驶速度都很小,约为  $70 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ ,而折算比功率越小,最小速度则越小,即受地形影响越明显.更有重型货车在上坡路段速度下降到  $20 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 以下.

从速度波动情况来看,呈现另外一个有意义的现象,即实际比功率小的重车(称之为重车1)速度波动最大,这是因为其受地形影响明显.部分比功率较大且未超载的重车速度波动却很小(重车2).这是因为,在高速公路上,由于其设计标准较高,车辆速度主要受2个方面的影响,即地形和交通流内部车辆间的相互影响.重车1的车速受地形影响最大,因此由于调查路段坡段多,其速度波动很大,但是由于重车1已经是最慢的车辆,因此其基本不受交通流内部车辆间的影响;而重车2相对重车1来说,受地形的影响较小,同时,由于流量不大<sup>[8]</sup>,因此其超越重车1的机会也较大,车速受交通流内部影响不大.

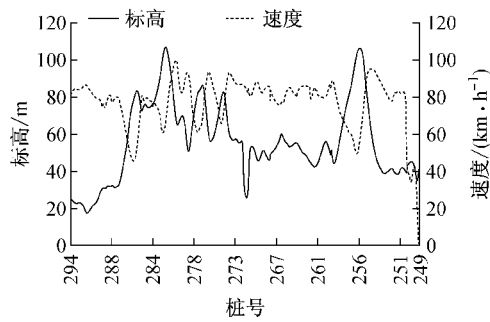
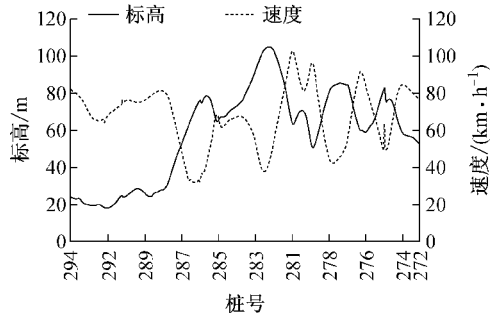
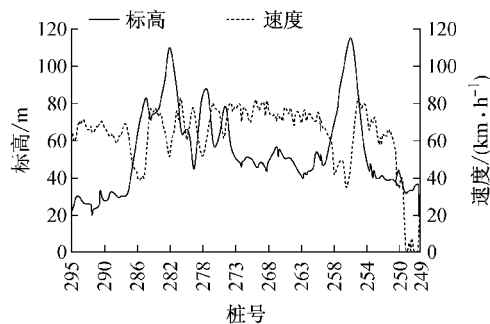
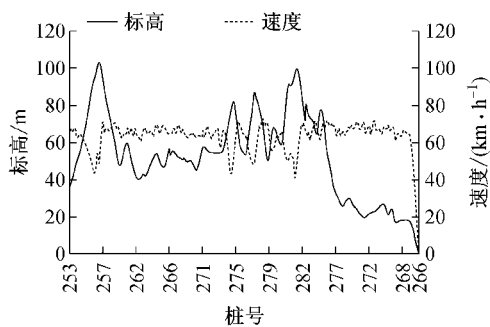
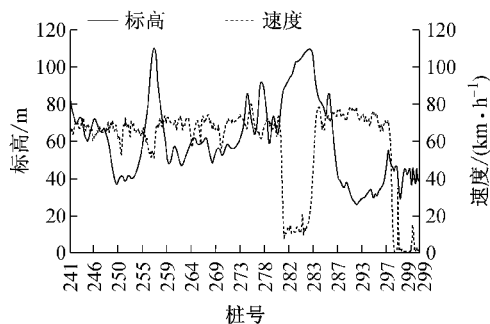
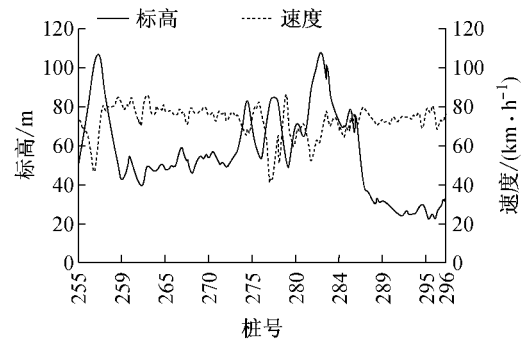
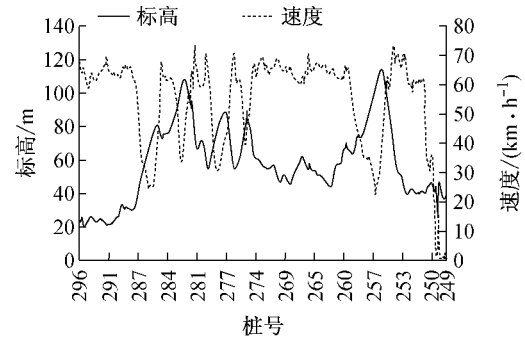
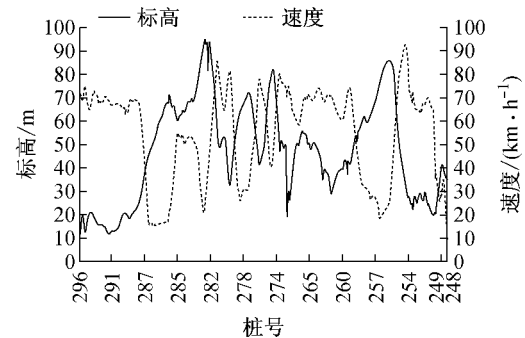
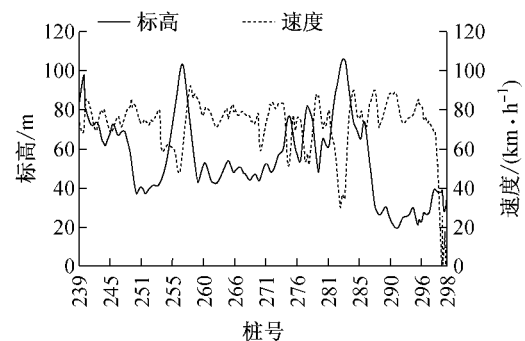
a 功率  $8.18 \text{ kW} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、超载率 1.04 的中型货车b 功率  $10.95 \text{ kW} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、超载率 2.14 的重型牵引车c 功率  $8.57 \text{ kW} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、超载率 1.32 的中型货车d 功率  $13.06 \text{ kW} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、超载率 1.30 的大货车e 功率  $9.26 \text{ kW} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、超载率 0.57 的中型货车f 功率  $9.53 \text{ kW} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、超载率 0.79 的中型货车g 功率  $4.56 \text{ kW} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、超载率 0.83 的重型货车h 功率  $5.55 \text{ kW} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、超载率 1.14 的重型半挂车i 功率  $21.04 \text{ kW} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、超载率 1.50 的大货车

图1 不同车辆速度随地形变化

Fig.1 Change plot of speed against topography

### 3 典型上坡路段车辆行驶性能曲线

重车的行驶性能通常受到几个因素的影响:车辆比功率、坡度、坡长,而在我国,由于超载现象较为

严重,车辆行驶性能还会受到其装载状况的影响.选取相同或相近坡段对运行情况进行对比.考虑到调查车辆行驶方向不同,因此分别选取了南行(k251—k294 方向)和北行的相近坡段,以便于行驶方向不同的车辆之间进行对比,选取坡段情况如表 4 所示.

表 3 不同车辆的比功率和速度

Tab.3 Specific power and speed of different vehicles

车辆类型	超载率	比功率/ (kW · kg <sup>-1</sup> )		速度/(km · h <sup>-1</sup> )			
		额定	折算	正常	最低	均值	方差
中型货车	1.32	8.57	6.48	70	40	65	223
中型货车	0.57	9.26	16.36	70	55	62	35
中型货车	1.04	4.56	5.51	90	50	78	214
中型货车	0.79	21.04	13.97	75	50	72	151
大货车	1.50	8.18	7.83	75	50	73	195
大货车	1.30	13.06	10.00	65	45	64	176
重型货车	1.14	5.55	4.86	65	15	55	614
重型货车	2.14	9.53	12.09	70	30	67	487
重型货车	0.83	10.95	5.11	65	25	55	415

表 4 不同坡段地形参数

Tab.4 Topographic parameters of gradients

起点 桩号	起点 标高/m	终点 桩号	终点 标高/m	坡长/ m	坡度/ %	方向
278950	47.354	277900	80.954	1 050	3.20	北行
258600	56.069	257150	87.679	1 450	2.18	北行
273750	60.654	274650	87.654	900	3.00	南行
254250	47.489	254700	56.489	450	2.00	南行
254700	56.489	255570	78.239	870	2.50	南行

### 3.1 不同比功率车辆行驶性能分析

在当前中国的超载超限治理中,新的收费政策鼓励了重型货运车辆的发展,即按照新的收费政策,比功率更大的重型货运车辆相对费率较低.同时,对道路管理部门来说,通过新的收费政策限制了超载,也减少了车辆对道路路面的损坏.但是,重型车辆车型的变化对交通流运行的影响却很少得到足够的重视.另一方面,建立我国的车辆折算系数体系也需选取最典型的车辆,并分析其车辆行驶曲线.基于此分析不同比功率的车辆在不同坡度下的行驶性能曲线,从而为下一步更深入的机理和对策分析提供支持.

选取了比功率分别为 8.18 kW · kg<sup>-1</sup> 和 5.55 kW · kg<sup>-1</sup> 的货车来进行对比,在不同坡度下其行驶性能曲线如图 2 所示.在不同的坡度下,随着坡长的增加,比功率小的车辆速度下降更快,且坡度越大,坡长越长,不同车辆之间比功率的差距会更明显地反映为速度差距.而根据相关研究,重车速度越小,对交通流产生的影响越大<sup>[8]</sup>.因此从交通流运行角度出发,当前的一些超载超限治理对策值得商榷.

### 3.2 装载对车辆性能的影响

为分析超载车辆对交通流运行效率的影响,对不同装载状况车辆的行驶曲线进行对比分析.在调查车辆中,解放 CA1112P1K2L6A84、乘龙 LZ5170XXYMD23P 和乘龙 LZ4242MD49 的比功率分别为 9.26、8.18 和 10.95 kW · kg<sup>-1</sup>,比功率较为接近,而其装载情况分别为空载、实载和严重超载.坡度分别为 2% 和 3% 时不同车辆的行驶性能曲线如图 3 所示.从图 3 可以看出,装载情况的不同对货运车辆爬坡性能影响很大,空载的货车受地形影响很小,即使在坡度较大后,速度降低也不大,严重超载的货车受地形影响大于实载的货车,当坡度增大后,随着坡长的增加,这一规律更加明显.

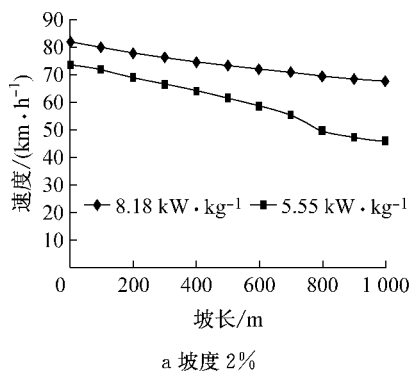
### 3.3 国内外车辆行驶性能曲线对比

在 HCM2000 中列出了最新的车辆比功率曲线,其比功率为 8.1 kW · kg<sup>-1</sup>,在调查中,也选取了比功率接近的车辆,将其在不同坡度下的行驶性能曲线与 HCM2000 中对比,如图 4 所示.从图 4 中可以看出,相同比功率的车辆,在同样坡度下,国内车辆速度下降幅度大于美国车辆,超载车辆下降幅度更大;随着坡度的增加,这一规律更加明显.

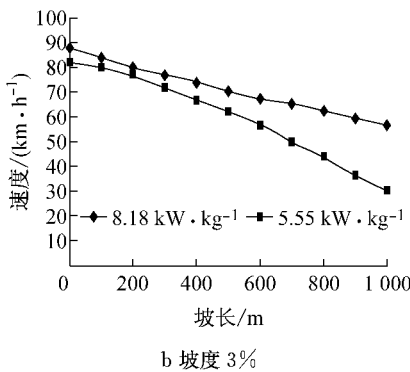
在坡度为 2% 时,中国实载重车的速度比 HCM 中的重车小 10 km · h<sup>-1</sup>,而超载重车的速度则小 30 km · h<sup>-1</sup>;在坡度为 3% 时,当坡长达到 1 000 m 时,中国实载重车速度比 HCM 中的重车小 11 km · h<sup>-1</sup>,超载重车的速度小 36 km · h<sup>-1</sup>.国内车辆性能方面的不足以及超载运输导致在高速公路上的特殊路段重车速度严重下降,道路服务水平下降.

## 4 结论

通过基于 GPS 的重车行驶性能调查发现超载车辆行驶性能严重下降,因此,在研究国内高速公路交通流的时候超载车辆的影响必须引起足够的重视.同时,比功率越大的车辆,其行驶性能越差,在制定超载政策时,不仅需从路面破坏角度出发,也应从保障高速公路的高效运营角度出发,因此,鼓励比功率大的车辆从而治理超载值得商榷.国内同样比功率的重车,其行驶性能远低于美国通行能力手册中的重车性能,因此,直接参考通行能力手册中的车辆折算系数会带来重车影响的严重低估,应在大规模调查的基础上建立我国自己的典型车辆比功率曲线和车辆折算系数体系,为高速公路的合理规划、高效运营提供支持.



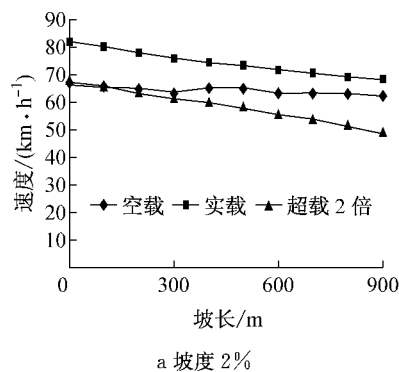
a 坡度 2%



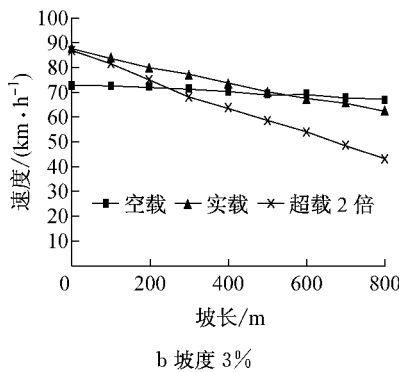
b 坡度 3%

图2 不同比功率车辆行驶性能曲线

Fig. 2 Driving performance curves of vehicles of different specific power on different gradients



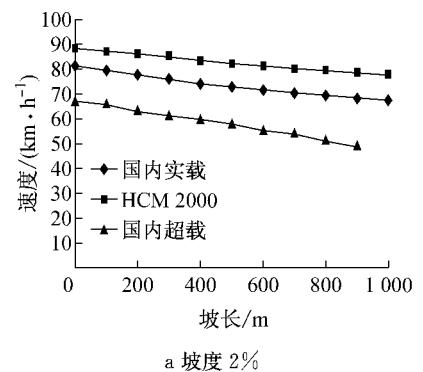
a 坡度 2%



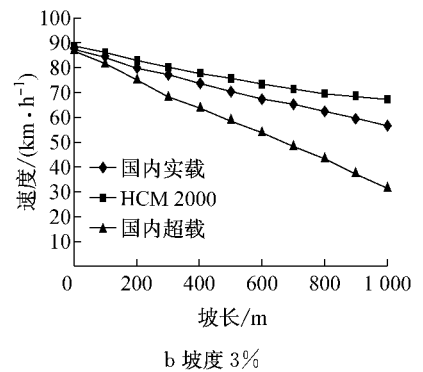
b 坡度 3%

图3 不同装载车辆行驶性能曲线

Fig. 3 Driving performance curves of vehicles under different loads



a 坡度 2%



b 坡度 3%

图4 国内外典型车辆行驶性能曲线

Fig. 4 Driving performance curves of typical vehicles

## 参考文献:

- [1] Highway Research Board. Highway capacity manual, special report 87 [R]. Washington D C: National Research Council, 1965.
- [2] 付强,林航飞,杨晓芳,等. 基于服务水平车辆折算系数[J]. 同济大学学报:自然科学版,2007,35(1):67.  
FU Qiang, LIN Hangfei, YANG Xiaofang, *et al.* Passenger car equivalent research out of level of service consideration [J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 2007,35(1):67.
- [3] Highway Research Board. Highway capacity manual 2000 [R]. Washington D C: National Research Council, 2000.
- [4] Roess R, Messer C. Passenger car equivalents for uninterrupted flow: revision of circular 212 values [J]. Transportation Research Record, 1984, 971: 7.
- [5] Highway Research Board. Highway capacity manual, special report 209 [R]. Washington D C: National Research Council, 1985.
- [6] 陈洪仁,杨龙海,李丽兰. 基于速度和车头时距的车辆换算系数计算方法研究[J]. 哈尔滨建筑大学学报,2001,34(2):110.  
CHEN Hongren, YANG Longhai, LI Lilan. Analysis of vehicle conversion factor [J]. Journal of Harbin University of Civil Engineering & Architecture, 2001,34(2):110.
- [7] 中华人民共和国交通部. JTG B01—2003 公路工程技术标准 [J]. 北京:人民交通出版社,2003.  
Ministry of Communications of the People's Republic of China. JTG B01—2003 Technical standard of highway engineering [S]. Beijing, China Communication Press, 2003.
- [8] 陈小鸿,付强,杨晓芳. 高速公路货运车辆速度下限设定研究 [J]. 同济大学学报:自然科学版,2007,35(2):199.  
CHEN Xiaohong, FU Qiang, YANG Xiaofang. Research on the setting of freeway lower velocity limit for trucks [J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 2007,35(2):199.