

四车道山区高速公路客货分道与 爬坡车道选择性设计研究

邓丽娟, 张良陈, 艾仁高

(湖北省交通规划设计院股份有限公司, 湖北 武汉 430051)

摘要: 连续纵坡作为山区高速公路典型特征,连续上坡设计对货车的运行速度有着显著影响,而慢速大货车势必导致连续上坡路段的通行能力大幅降低,且增加了交通事故发生的几率。客货分道管理与增设爬坡车道是有效提高连续上坡路段通行能力的方案。针对该特定路段,具体选择客货分道或爬坡车道,设计人员缺乏参考依据,因此,该文基于交通量和通行能力分析,因地制宜地选择合适方案,以发挥各个方案的效益最大化。

关键词: 山区高速公路;客货分道;爬坡车道;交通量;通行能力

1 引言

山区高速公路线形设计为了克服高差,常采用连续上坡设计。货车作为长途运输的主要交通工具,其车型趋于大型化、载重趋于重型化。在连续上坡路段,货车在纵坡影响下,运行速度不断降低,势必给受纵坡影响较小的客车的运行造成极大干扰,导致高速公路通行效率降低。同时,货车与客车混行的条件下,交通冲突会愈发严重,从而易导致交通事故频发,造成生命、财产损失。为了改善山区高速公路连续上坡路段的交通状况,提高路段通行能力,国内外开展了广泛研究:Virginia 交通运输部提出了客货分道管理、限制货车通行、设置爬坡车道等多种措施,并仿真研究了3种措施的有效性;Matthew J. Roorda 研究了实施客货分道的条件,并针对具体路段制定了客货分道设计方案;蔡晓萌等基于 TSIS 仿真研究了针对改善高速公路大货车影响的车道限制、爬坡车道措施;梁永东基于元胞研究了爬坡车道的设置效果;杨萌萌基于交通安全研究了山区高速公路爬坡车道的设置依据。

客货分道、爬坡车道作为国内外针对改善连续上坡路段通行能力的主要措施,两个方案所要达到的目的一致,但具体实施的方式不同,相应的工程技术性、经济性存在差异。该文从工程技术、经济方面出发,比较两个方案的适用性,以便为设计人员对山区高速公路连续上坡路段选择交通改善措施提供依据。

2 客货分道

2.1 概念

客货分道属于道路管理系统的一种,指在道路的某一路段或全路段设置隔离设施或车道分隔实线,使得客车、货车各行其道,达到客车、货车隔离运行的目的,以改变客、货混行的交通环境。依据隔离方式不同,客货分道的类型主要有:双重组合车道、限制车道、专用货车车道。合理实施客货分道,消除客车、货车混合运行,可有效提高山区高速公路连续上坡路段通行能力,降低路段交通事故率,改善山区高速公路运营状况。

2.2 实施条件

单向两车道及以上高速公路均可实行客货分道,设置条件主要有:

(1) 路段交通量较小,小型车、大型车运行速度差值普遍高于 20 km/h,易导致路段交通事故高发。

(2) 路段交通量较大,设计小时交通量大于上坡路段设计通行能力,造成路段服务水平低于三级。

3 爬坡车道

3.1 概念

爬坡车道属于附加车道的一种,指上坡方向设置的供慢速大货车行驶的车道。在连续上坡路段设置爬坡车道,从主交通流中将慢速大货车分离,行车道上保

留运行速度较高的车辆,利于提高路段通行能力,降低事故发生的几率。

3.2 实施条件

对于单向三车道及以上的高速公路,车辆行驶自由度较高,无需通过设置爬坡车道改善交通环境,因此只有单向两车道高速公路需要考虑是否设置爬坡车道,设置条件主要有:

(1) 规范对不同纵坡的最大长度给出了规定,单一纵坡的坡长设计大于规范的规定值。

(2) 设计小时交通量大于上坡路段的设计通行能力。

(3) 货车因连续上坡的影响,运行速度低于对应的最低容许速度。

(4) 改善路线纵断面线形的技术、经济效益低于设置爬坡车道的技术、经济效益。

4 方案比选

双向四车道以上的高速公路仅可选择客货分道方案,因此客货分道与爬坡车道方案比选仅适用于双向四车道高速公路。

4.1 方案选择定性分析

对比客货分道与爬坡车道:

(1) 实施条件相似,共同点在于上坡路段货车运行速度降低过多导致通行能力不足时采用。

(2) 实施目的相似,均是以货车为主要实施对象,改善上坡路段交通条件,提高通行能力,降低交通事故发生几率。

(3) 客货分道是通过设置隔离设施或车道分隔实线引导客车、货车各行其道,对工程造价影响不大;爬坡车道则通过在上坡路段右侧增设附加车道将慢速大货车与主交通流分隔,附加车道的设置将使工程造价增大,特别是桥隧比例高的路段造价增加更为显著。因此,工程经济性方面,客货分道优于爬坡车道。同时,附加车道的设置将使路段适应的交通量增大,因此,工程技术性方面,爬坡车道优于客货分道。

在山区高速公路连续上坡路段,当单向设计小时交通量大于上坡路段的设计通行能力时,此路段通行能力不足,应依据交通量、交通组成等实际情况选择客货分道或爬坡车道方案。思路如下:首先从经济性的角度,当采取客货分道后,通行客车的内侧车道通行能力可满足实际通行需求时,优先采取选择客货分道;当采取客货分道后,通行客车的内侧车道通行能力仍不能满足实际通行需求时,采取增设爬坡车道。

4.2 方案选择量化计算

高速公路远景预测交通量为 $AADT$ (veh/h),交通组成如表 1 所示。

表 1 高速公路交通组成

车型	比例	车型	比例
小客车	a	中货车	d
大客车	b	大货车	e
小货车	c	汽车列车	f

单向设计小时交通量 $DDHV$ (veh/h) 计算:

$$DDHV = AADT \times D \times K \quad (1)$$

式中: D 为方向不均匀系数(%); K 为设计小时交通量系数(%).

计算得到客车对应的小时交通量为 $(a+b) \times DDHV$,货车对应的小时交通量为 $(c+d+e+f) \times DDHV$ (因小货车占比较小,故一并纳入)。

高速公路服务水平要求不低于三级,对应的最大服务交通量如表 2 所示。

表 2 高速公路最大服务交通量

设计速度/ (km · h ⁻¹)	最大服务交通量/[pcu · (h · ln) ⁻¹]	
	二级服务水平	三级服务水平
120	1 200	1 650
100	1 150	1 600
80	1 100	1 500

设计通行能力 C_d 的计算:

$$C_d = MSF_i \times f_{HV} \times f_p \times f_f \quad (2)$$

式中: C_d 为设计通行能力[veh/(h · ln)]; MSF_i 为设计服务水平下的最大交通量[pcu/(h · ln)]; f_f 为路侧干扰修正系数,取 1.0; f_p 为驾驶人总体修正系数,取 0.95~1.00; f_{HV} 为交通组成修正系数,按式(3)计算:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + \sum P_i (E_i - 1)} \quad (3)$$

式中: P_i 为车型 i 的交通量占总交通量的百分比; E_i 为车型 i 的车辆折算系数, E_1 (小客车、小货车) 为 1;中型车动力性能较优,其运行速度受交通量影响较大,相应车辆折算系数如表 3 所示;大货车及汽车列车动力性能较差,其运行速度受纵坡影响较大,相应车辆折算系数如表 4 所示。

参考相关研究,连续上坡路段纵坡组合的作用应按等效坡度、等效坡长进行分析。表 5 为连续纵坡组合时等效坡度的确定。

组合纵坡路段等效坡长按式(4)计算:

$$S_E = S_0 + \sum_{i=1}^j S_i \quad (4)$$

表 3 中型车折算系数

交通量/ [pcu · (h · ln) ⁻¹]	不同设计速度(km/h)时折算系数		
	120	100	80
≤800	1.5	1.5	2.0
800~1 200	2.0	2.5	3.0
1 200~1 600	2.5	3.0	4.0
>1 600	1.5	2.0	2.5

式中： S_E 为等效坡长(m)； S_0 为纵坡研究主导车型(2017 版路线规范规定纵坡研究主导车型为总重 49 t 的六轴汽车列车)爬坡性能曲线图(图 1)中初始入坡速度与第一段纵坡坡度对应的长度(m)； j 为连续上坡中第一段坡度至最大坡度的纵坡数； S_i 为连续上坡中最大坡度前各段坡长(m)。

实行客货分道情况下,通行客车的内侧车道的设

表 4 大货车、汽车列车折算系数

车辆 类型	坡度/ %	坡长/ m	不同车型占比(%）、不同设计速度(km/h)时折算系数								
			10			20			30		
			120	100	80	120	100	80	120	100	80
大货车	2	≤600	4.0	4.0	4.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
		600~900	4.0	4.0	4.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
		≥900	4.0	4.0	4.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
	3	≤600	4.0	4.0	4.0	3.5	3.5	3.0	3.5	3.5	3.5
		600~900	4.0	4.0	4.0	3.5	3.5	3.0	3.5	3.5	3.5
		≥900	4.5	4.5	4.5	3.0	4.0	3.5	4.0	4.0	4.0
	4	≤600	4.0	4.0	4.0	3.5	4.0	3.5	3.5	3.5	3.5
		600~900	4.0	4.0	4.0	3.5	4.0	3.5	3.5	3.5	3.5
		≥900	4.5	4.5	4.5	4.0	4.5	4.0	4.0	4.0	4.0
	5	≤600	—	4.0	4.0	—	4.0	3.5	—	3.5	4.0
		600~900	—	4.5	4.5	—	4.5	4.0	—	4.0	4.0
		≥900	—	4.5	4.5	—	4.5	4.0	—	4.0	4.0
汽车 列车	6	≤600	—	—	4.0	—	—	3.5	—	—	4.0
		600~900	—	—	4.5	—	—	4.0	—	—	4.0
		≥900	—	—	4.5	—	—	4.0	—	—	4.0
	2	≤600	4.5	6.0	6.5	5.0	5.0	5.0	4.5	4.5	5.0
		600~900	4.5	6.0	6.5	5.0	5.0	5.0	4.5	4.5	5.0
		≥900	4.5	6.0	6.5	5.0	5.0	5.5	4.5	4.5	5.0
	3	≤600	5.0	6.0	5.5	6.0	5.5	6.0	5.0	5.0	5.5
		600~900	5.0	6.0	6.0	6.0	5.5	6.0	5.0	5.0	5.5
		≥900	5.5	6.5	6.5	6.5	6.0	6.5	5.5	5.5	6.0
	4	≤600	5.5	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	5.5	6.0	6.0
		600~900	6.0	6.0	6.0	6.5	6.0	6.0	6.0	6.0	6.5
		≥900	6.0	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.0	6.5	6.5
	5	≤600	—	6.0	6.0	—	6.0	6.0	—	6.5	6.0
		600~900	—	6.5	6.5	—	6.5	7.0	—	7.0	6.5
		≥900	—	6.5	6.5	—	6.5	7.0	—	7.0	6.5
	6	≤600	—	—	7.0	—	—	6.5	—	—	6.5
		600~900	—	—	7.5	—	—	7.0	—	—	7.0
		≥900	—	—	7.5	—	—	7.0	—	—	7.0

表 5 等效坡度

连续上坡组合 路段最大纵 坡度/%	等效坡 度/%	连续上坡组合 路段最大纵 坡度/%	等效坡 度/%
(2.0,2.5]	2	(4.5,5.5]	5
(2.5,3.5]	3	(5.5,6.0]	6
(3.5,4.5]	4		

表 6 A 高速公路交通组成

车型	比例/%	车型	比例/%
小客车	58	中货车	7
大客车	8	大货车	10
小货车	6	汽车列车	11

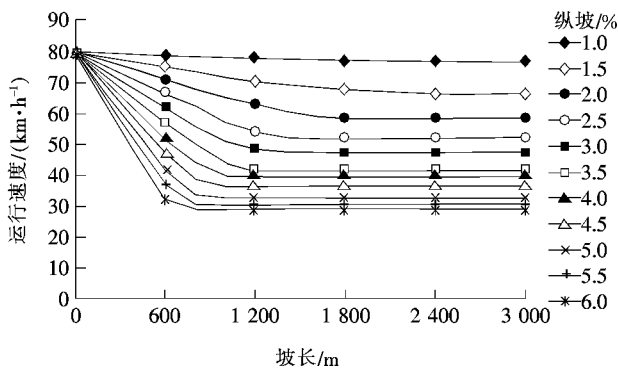


图 1 纵坡研究主导车型(总重 49 t)爬坡性能曲线

计小时交通量为 $(a+b) \times DDHV$ (veh/h), 通行货车的外侧车道的设计小时交通量为 $(c+d+e+f) \times DDHV$ (veh/h); 以三级服务水平为界定依据, 驾驶人总体修正系数取 0.95, 内侧车道的设计通行能力为 $0.95 \times MSF_3 \times f_{HV内}$ (veh/h), 外侧车道的设计通行能力为 $0.95 \times MSF_3 \times f_{HV外}$ (veh/h)。

依据内侧车道通行能力与客车对应的小时交通量, 进行上坡路段改善交通环境的方案选择:

(1) $0.95 \times MSF_3 \times f_{HV内} \geq (a+b) \times DDHV$ 时, 内侧车道满足三级服务水平下客车通行要求, 选择客货分道方案。

(2) $0.95 \times MSF_3 \times f_{HV内} < (a+b) \times DDHV$ 时, 内侧车道不满足三级服务水平下客车通行要求, 选择爬坡车道方案。

5 工程实例分析

5.1 实例一

A 高速公路设计速度 100 km/h, 双向四车道, 路基宽度 26 m, 远景预测交通量 AADT 为 39 205 pcu/d, 交通组成如表 6 所示, K19+200~K22+500 段为连续上坡路段, 纵坡组成为 3.5%/800 m+3%/1 000 m+4%/800 m+3.5%/700 m。

方向不均匀系数为 0.52, 设计小时交通量系数为 0.085, 预测坡底运行速度约为 55 km/h, 等效坡度为 4% (根据表 5 查得), 等效坡长为 3 200 m [根据式 (4) 算得], 中型车、大型车、汽车列车的折算系数分别为 3、4.5、6.5 (根据表 3、4 查得)。

$$DDHV = AADT \times D \times K = 39\,205 \times 0.52 \times 0.085 = 1\,733 \text{ veh/h}$$

三级服务水平下设计通行能力 C_d 为:

$$C_d = MSF_i \times f_{HV} \times f_p \times f_f = 1\,600 \times \{1/[1 + 8\% \times (3-1) + 7\% \times (3-1) + 10\% \times (4.5-1) + 11\% \times (6.5-1)]\} \times 0.95 = 674 \text{ veh}/(\text{h} \cdot \ln)$$

单向设计小时交通量 1 733 veh/h 大于三级服务水平下单向设计通行能力 1 348 veh/h, 此连续上坡路段通行能力不足, 需采取客货分道或爬坡车道方案来改善路段交通环境。

(1) 若实施客货分道方案, 通行客车的内侧车道的设计小时交通量为:

$$(a+b) \times DDHV = (58\% + 8\%) \times 1\,733 = 1\,144 \text{ veh/h}$$

三级服务水平下内侧设计通行能力:

$$0.95 \times MSF_3 \times f_{HV内} = 1\,600 \times \frac{1}{1 + 8\% \times (3-1)} \times 0.95 = 1\,310 \text{ veh/h}$$

因 1 144 veh/h < 1 310 veh/h, 内侧车道满足客车顺畅通行的要求。

(2) 若实施客货分道方案, 通行货车的外侧车道的设计小时交通量为:

$$(c+d+e+f) \times DDHV = (6\% + 7\% + 10\% + 11\%) \times 1\,733 = 590 \text{ veh/h}$$

三级服务水平下外侧设计通行能力:

$$0.95 \times MSF_3 \times f_{HV外} = 1\,600 \times \frac{1}{1 + 7\% \times (3-1) + 10\% \times (4.5-1) + 11\% \times (6.5-1)} \times 0.95 = 726 \text{ veh/h}$$

因 590 veh/h < 726 veh/h, 外侧车道满足货车顺畅通行的要求。

综上所述, 内侧车道与外侧车道均满足相应车辆

顺畅通行的要求,故建议选择客货分道方案。

5.2 实例二

B高速公路设计速度 80 km/h,双向四车道,路基宽度 24.5 m,远景预测交通量 $AADT=45\,341$ veh/d,交通组成如表 7 所示,K102+700~K106+100 为连续上坡路段,纵坡组成为 4%/750 m+3.3%/950 m+4.5%/800 m+3.8%/900 m。

表 7 B 高速公路交通组成

车型	比例/%	车型	比例/%
小客车	66	中货车	9
大客车	7	大货车	6
小货车	4	汽车列车	8

方向不均匀系数为 0.52,设计小时交通量系数为 0.085,预测坡底运行速度约为 50 km/h,等效坡度为 4%,等效坡长为 3 100 m,中型车、大型车、汽车列车的折算系数分别为 4、4.5、6.5。

$$DDHV=AADT \times D \times K=45\,341 \times 0.52 \times 0.085=2\,004 \text{ veh/h}$$

三级服务水平下设计通行能力 C_d 为:

$$C_d=MSF_i \times f_{HV} \times f_p \times f_f=1\,500 \times \{1/[1+7\% \times (4-1)+9\% \times (4-1)+6\% \times (4.5-1)+8\% \times (6.5-1)]\} \times 0.95=669 \text{ veh/(h} \cdot \ln)$$

单向设计小时交通量 2 004 veh/h 大于三级服务水平下单向设计通行能力 1 338 veh/h,此连续上坡路段通行能力不足,需采取客货分道或爬坡车道方案改善路段交通环境。

若实施客货分道方案,通行客车的内侧车道的设计小时交通量为:

$$(a+b) \times DDHV=(66\%+7\%) \times 2\,004=1\,463 \text{ veh/h}$$

三级服务水平下设计通行能力:

$$0.95 \times MSF_3 \times f_{HV内}=1\,500 \times \frac{1}{1+7\% \times (4-1)} \times 0.95=1\,178 \text{ veh/h}$$

因 1 463 veh/h>1 178 veh/h,内侧车道不满足客车顺畅通行的要求,故建议选择爬坡车道方案。

6 结语

客货分道措施与设置爬坡车道均利于提高山区高速公路连续上坡路段通行能力,降低交通事故发生几率。两个方案的实施条件相似,从工程经济、技术方面比较,客货分道方案在工程经济方面占优,爬坡车道方案在工程技术方面占优。在选择方案时,应根据交通量、交通组成、坡度、坡长等综合确定。内侧车道满足三级服务水平下客车通行要求时,建议选择客货分道方案;内侧车道不满足三级服务水平下客车通行要求时,建议选择爬坡车道方案。

参考文献:

- [1] Heshan Rakha, Sangjun Park. Evaluation of Alternative Truck Land Management Strategies Along a Section of I-81 [R]. Virginia Transportation Research Council, 2010.
- [2] Matthew J. Roorda, Michael Hain. Exclusive Truck Facilities in Toronto, Ontario, Canada[C]. Washington D. C., Transportation Research Board, 2010.
- [3] 蔡晓萌,李嘉,王子浜.高速公路大型货车影响的改善措施研究[J].公路,2010(12).
- [4] 梁永东.基于元胞自动机的高速公路爬坡车道设置效果研究[D].长安大学硕士学位论文,2013.
- [5] 杨萌萌.基于交通安全的高速公路爬坡车道设置依据研究[D].东南大学硕士学位论文,2015.
- [6] 付春辉.国内外高速公路客货分离进展研究[J].辽宁省交通高等专科学校学报,2017(2).
- [7] 许金良.道路勘测设计[M].北京:人民交通出版社,2016.
- [8] JTG D20-2017 公路路线设计规范[S].
- [9] 陈中治,钮洪亮.山区旅游公路设计新理念——湖北省兴山县的“最美水上公路”[J].中外公路,2017(6).
- [10] 赵一飞.高速公路交通安全若干问题研究[D].长安大学博士学位论文,2009.
- [11] 赵队家,李硕,刘海,等.山西省山区高速公路纵坡设计的安全评价——兼论中国纵坡最大坡长设计标准[J].中外公路,2012(6).
- [11] 潘兵宏,杨少伟,赵一飞.山区高速公路长大下坡路段界定标准研究[J].中外公路,2009(6).