

摘 要

本文首先回顾了高速公路互通式立交变速车道设计的研究现状,分析了已有研究成果的不足和研究的空白点,确定了论文的研究对象,即运行速度与交通流量对变速车道设计长度的影响。

首先,通过汽车动力学分析,建立了车辆行驶的横向加速度、轴向加速度、竖向加速度及加速度模型,并通过文献资料的分析建立了各加速度指标模型,最后通过加速度模型及加速度指标模型建立了运行速度预测模型。运用运行速度预测模型计算得出了立交主线曲线半径、匝道曲线半径与减速车道长度的关系表格。

此外,还运用交通流的可接受间隙理论及考虑服务交通量对加速车道长度的影响,建立了高速公路主线交通流量、匝道交通流量与加速车道长度的关系模型,并计算出了加速车道长度设置表格。

最后,本文还都通过示例的计算与分析,认为本文加、减速车道的计算方法及结果更具有灵活性与适用性。

关键词:加速度 运行速度 交通流量 曲线半径

可接受间隙理论 加速车道 减速车道

ABSTRACT

In this paper, the authors review the design research in the speed-change lane of the Expressway Interchange. insufficient analysis of existing research results and research gaps, determined the paper' object of study. Namely the operating speed and the traffic flow influence the length of the speed-change lane.

Firstly, using vehicle dynamics analysis, established the lateral acceleration model 、 the axial acceleration model 、 the vertical acceleration model and the acceleration model . using the analysis of the literature to establish a model for acceleration indicators, Finally, established the operating speed prediction models. using the operating speed prediction model, established the relationship between the main line curve radius of the interchange、 the ramp radius of the curve form the length of the deceleration lane.

In addition, the authors use the gap acceptance theory and consider the length of the acceleration lane of traffic services, establish of the model that the relationship the between form the expressway traffic flow、 the ramp traffic flow and the length of the acceleration lane. Calculated the length of the acceleration lane and set up forms.

Finally, we also have examples of the calculation. Contrast the results between this paper from the Norms. we think that the method of calculating the results of the speed-change lane is more flexibility and applicability.

KEY WORDS: acceleration Operating Speed traffic flow radius of the curve
the gap acceptance theory the acceleration lane the deceleration lane

重庆交通大学学位论文原创性声明

本人郑重声明：所提交的学位论文，是本人在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

学位论文作者签名：汪何峰

日期：2007年4月2日

重庆交通大学学位论文授权使用授权书

本学位论文作者完全了解学校有关保留、使用学位论文的规定，同意学校保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅。本人授权重庆交通大学可以将本学位论文的全部内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编本学位论文。

学位论文作者签名：汪何峰

指导教师签名：孙家驹

日期：2007年4月2日

日期：2007年3月30日

第一章 绪论

1.1 研究课题的提出

数十年来,随着我国改革开放的不断深入,经济和现代科学技术高速发展,促进了汽车工业快速发展,使道路交通运输量增长很快,为了适应国民经济增长的需要,公路运输以前所未有的速度迅猛发展。并很快成为各种运输方式中的主要方式,以高速公路为主体的高等级公路里程也随之不断增加。另外,随着城市发展,城市汽车拥有量迅速增长,原有道路的通行能力已经不能满足日益增长的车辆需要。行人、非机动车辆与汽车之间的争道现象日益严重。此时,道路上的一些平面交叉口就成为行车的咽喉地段,交通拥挤不堪,不断发生堵塞现象,通行能力小,车速低,油耗大,交通事故高。为此,不得不将平面交叉变为立体交叉,使道路交叉向立体化方向发展,通过建设跨线构造物,使相交主线的交通流在空间上分离,从根本上分离交通流之间的相互干扰,同时通过修建匝道,将主线之间的交通流连续起来,实现车流之间的转换,从而彻底解决平面交叉口的交通问题,提高车速,改善安全性能,增加通行能力,因此可以说,立交的产生和发展,始终伴随着汽车交通和城市的发展而发展。

特别是最近几年,我国高速公路迅猛发展,到 2005 年,已突破 4.1 万公里,伴随着高速公路的发展,我国公路交通建设中修建了大量的立体交叉。同时为了缓解交通堵塞,不少城市也在快速路的修建过程中修建了许多各式各样繁多的立体交叉,这些立体交叉的修建对缓解交通紧张,加快交通运输速度,增加道路通行能力方面起到了积极的作用,在我国掀起了一股立体交叉建设的热潮。

然而,由于我国开始大量修建高速道路的时间较晚,高速道路及其组成部分的立体交叉的规划与设计,目前尚处于大量实践、经验积累阶段。早期修建的大量立体交叉在当时确实起到了很好的解决交通拥挤的作用,但是随着汽车技术及交通的不断发展和设计、施工、运营的实践,立体交叉设计突现出不少的问题,其中最受关注的是汽车的行驶安全问题。据有关统计,高速公路的交通事故有很大一部分发生在立体交叉区域,而这些事故又绝大部分发生在匝道及其出、入口段,即所谓“鼻端事故”现象较为严重。美国也有这种现象,据他们的统计研究表明,大约 44%的驶出匝道交通事故发生在出口端部附近(包括三角地带在内的分岔区);大约 52%的驶入匝道交通事故发生在高速路上的交汇区。研究还发现加速车道长于 250m 的入口匝道交通事故率低于平均水平;带有辅助车道和较长渐变段的入口匝道更是不错的选择^①。从上述的现象中我们可以得出这样的结论:立交变速车道(包括端部)是立交区的故事多发地段。影响变速车道发挥其功能的因数很多,其中又以变速车道的形式和长度对其影响最大。过短的变速车道使得驾驶员来不及进行车速的变换操作,引起驾驶混乱,引发交通事故;过长的变速车道一是土地利用的浪费,还有可能引起驾驶

员驾驶警觉的放松而引发交通事故。

我国现行的立体交叉变速车道长度的确定是根据道路主线和匝道的的设计速度来进行选取的,这在主线设计车速不是很高的情况下是基本满足车辆的变速要求的,但是当主线设计速度很高,道路技术指标很高的情况下(如高速公路),车辆到达立体交叉变速车道的时其实际运行速度与主线设计速度是不一致的,有的时候还会相差很大,再者车辆经过变速车道的行驶到达匝道后的速度也不一定和匝道的设计速度一致。这时还运用主线和匝道的的设计速度来进行变速车道的长度计算是不能满足车辆变速行驶要求的,如采用这样的计算长度来进行施工图的设计对以后的车辆运行是有潜在危险的。鉴于国内还没有运用车辆运行速度来进行立体交叉变速车道长度的研究,本文就这方面做些探讨。

1.2 研究的意义和目的

现行的变速车道设计理论的唯一指标是主线的设计速度,根据主线设计速度值的大小来选取变速车道的长度值。这种唯一指标的设计方法已经不能很好的统一满足全国各地各种复杂地形条件下的道路设计要求,比如:同是主线设计速度为100km/h的高速公路立交设计,一个是平原地区,地形开阔,匝道设计基本不受地形限制,匝道的设计指标与主线设计指标接近,这时套用现行的变速车道设计方法选取的变速车道长度往往比实际需要的变速车道长度要长,这样不仅没有必要,而且还增加了工程的造价;相反,在山岭地区,地形复杂,匝道的设计大多受地形限制严格,匝道的设计指标与主线相差较大,这是仍然套用现行的变速车道设计方法选取的变速车道长度往往比实际需要的变速车道长度短,不能满足车辆的变速行程,对车辆的运行存在潜在危险。

本文从车辆运行速度及交通流理论的角度出发,研究和探讨一种能更好地统一满足各种复杂地形条件下的变速车道设计方法。理论上补充规范中对变速车道设计规定的不足以及为以后的规范修订提供参考依据;在实践上也为道路的安全、经济、合理设计提供参考依据。

1.3 国内外的研究现状

变速车道作为出入主线的咽喉路段,有着它独特的功能和要求,国内外对其的研究比较早也比较全面。

我国《公路路线设计规范》中对变速车道有着明文规定,变速车道的横断面由左侧路缘带(与主线行车道共用)、车道和包括右侧路缘带在内的右路肩组成。变速车道的形式有直接式与平行式两种(图 1.1)。平行式变速车道是将起点做成有适当流出角度的三角段,而且直到楔形端部都采用一定宽度的形式,与直接式相比是强

调减速车道的起点。三角段部分虽然与车辆的行驶轨迹相符合,但在通过整个减速车道时,必须走 S 形路线。根据调查认为,一般情况下,驾驶员驶出主线时大多愿意采用直接式的流出,而不愿走 S 形路线。平行式与实际的行驶状态是不符合的。直接式由于减速车道的全长有三角段构成,所以强调起点比平行式稍差一点,但是不走 S 形路线,而且与实际要求的轨迹相符合。因此当变速车道为单车道时,减速车道适宜采用直接式,加速车道适宜采用平行式;当为双车道时,由于车道有富余宽度,加、减速车道均应采用直接式。

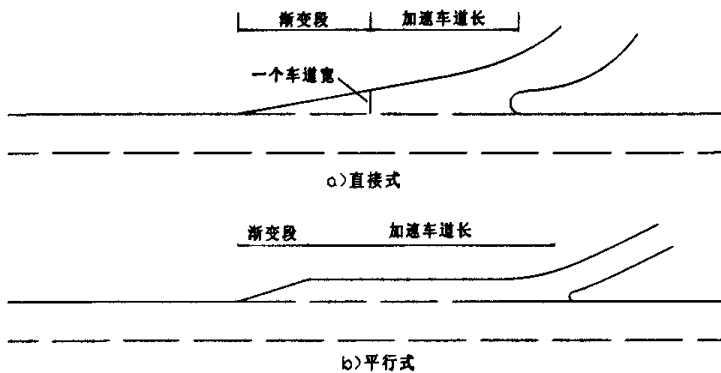


图 1.1 变速车道形式

Chart 1.1 the speed lane form

变速车道的总长度为变速段长度与三角过度段长度之和。

(1)加速车道长度,是指从合流端到能保证所规定的加速车道宽度(一般为一个车道宽度)那一点的长度,并要保证把匝道车速加快到能够进行合流的速度。一般按下式计算:

$$L = \frac{v_1^2 - v_2^2}{26a} \quad (1-1)$$

式中: v_1 ——与主线合流必须达到的速度(km/h)

v_2 ——匝道的计算行车速度(km/h)

a ——汽车由匝道汇入主线的平均加速度(m/s^2)

(2)减速车道长度,是指从分流端到能保证所规定的减速车道宽度(一般为一个车道宽度)那一点的长度。一般按下式计算:

$$L = \frac{v_0 t}{3.6} - \frac{a_1 t^2}{2} + \frac{v_1^2 - v_2^2}{26a_2} \quad (1-2)$$

式中: t ——发动机制动时间(s)

v_0 ——分流初速度(km/h),与主线技术指标有关

a_1 ——发动机减速度(m/s^2)

a_2 ——制动器制动减速度(m/s^2)

v_1 ——发动机减速后的车速(km/h), $v_1 = v_0 - a_1 t$

v_2 ——匝道的行车速度(km/h)

(3)渐变段长度计算一般按下列公式计算:

$$L = \frac{v_a t}{3.6} \quad (1-3)$$

式中: v_a ——平均行驶速度(km/h)

t ——行程时间(s)

我国《公路路线设计规范》(94)中变速车道的长度依据上述公式,参照日本及德国的规范,计算长度如下表 1.1

94 路线规范对变速车道长度的规定 表 1.1

94 routes to regulate the length of the speed lane Table 1.1

主线计算行车速度 (km/h)		120	100	80	60	40	
减速车道长度 (m)	单车道	100	90	80	70	30	
	双车道	150	130	110	90	---	
加速车道长度 (m)	单车道	200	180	160	120	50	
	双车道	300	260	220	160	---	
渐变段长度 (m)		单车道	70	60	50	45	40
渐变率	出口	单车道	1/25		1/20	1/15	
		双车道					
	入口	单车道	1/40		1/30	1/20	
		双车道					

下坡路段的减速车道和上坡路段的加速车道,其长度应按表 1.2 中的修正系数予以修正。

94 路线规范对变速车道长度的修正系数 表 1.2

The correction factor of the length about the speed lane Table 1.2

主线平均坡度 (%)	$i \leq 2$	$2 < i \leq 3$	$3 < i \leq 4$	$4 < i \leq 6$
下坡减速车道修正系数	1.00	1.10	1.20	1.30
上坡加速车道修正系数	1.00	1.20	1.30	1.40

计算时各参数取值如下表 1.3

94 路线规范计算变速车道长度的参数值 表 1.3

94 standardized calculation speed lane route length of the parameter values in Table 1.3

主线设计车速(km/h)	120	100	80	60	50	40
v_0 初始速度(km/h)	90	80	70	60	50	40
a_1 平均减速度(m/s^2)	1.0	0.9	0.8	0.6	---	---
a_2 平均减速度(m/s^2)	2.0	1.8	1.6	1.2	---	---

城市道路变速车道长度及修正系数如下表 1.4

城市道路规范中变速车道长度及修正系数 表 1.4

Lane urban road length and speed regulation correction coefficient

Table 1.4

减 速 车 道 长 度 (m)	匝道速度	60	50	45	40	35	30	25	20
	主线速度								
	120	110	130	140					
	80		70	80	85	90	95		
	60			50	60	65	70	75	80
	50					45	50	55	60
40							35	40	

加 速 车 道 长 度 (m)	匝道速度	60	50	45	40	35	30	25	20
	主线速度								
	120	240	270	300	330				
	80		180	200	210	220	230		
	60			150	180	190	200	210	220
	50					80	100	110	120
40							50	60	

修 正 系 数	干道平均纵坡(%)	$0 < i \leq 2$	$2 < i \leq 3$	$3 < i \leq 4$	$4 < i \leq 6$
	减速下坡长度修正	1	1.1	1.2	1.3
	加速上坡长度修正	1	1.2	1.3	1.4

平行式变速车道过度段长度	干道计算车速(km/h)	120	80	60	50	40
	过度段长度(km/h)	80	60	50	45	

近年来,我国变速车道长度(按 94 规范设计长度)不足,在已建成的公路(特别是高速公路)上已有明显的暴露。由于减速车道的长度较短,它所邻接的匝道的平面线形指标又较低,驾驶者见此情景后往往在进入减速车道之前就开始降速,影响后随直行车道的正常行驶。加速车道由于长度不足而使汇流欠有序。鉴于此,我国在修订后的《公路路线设计规范》(2006 年版)中对于变速车道做了适当的生长,并做了某些情况下增长变速车道的规定。在确定变速车道的长度时,考虑了如下因素:

- (1) 满足与主线运行速度相应的分流角和汇流角(即渐变率)的要求。
- (2) 在分、汇流鼻处,符合主线硬路肩宽度和分流鼻处主线和硬路肩的路面偏置加宽的要求。
- (3) 按以上确定的出、入口长度同时应满足按一般规律变速所需的变速长度的要求。
- (4) 加速车道在单车道情况下推荐采用平行式,但不排除用直接式,故入口长度仍按汇流角控制。

《公路路线设计规范》(2006 年版)关于变速车道长度及有关参数如下表 1.5 所示:

06 路线规范中变速车道长度有关参数 表 1.5

Variable-lane route length of 06 standardized parameters Table 1.5

变速车道类别		主线设计速度(km/h)	变速车道长度(m)	渐变参数 m	渐变段长度(m)	主线硬路肩或其加宽后的宽度 C1(m)	分、汇流鼻端半径(m)	分流鼻处匝道左侧硬路肩加宽 C2(m)
出口	单车道	120	145	25	100	3.5	0.60	0.60
		100	125	22.5	90	3.0	0.60	0.80
		80	110	20	80	3.0	0.60	0.80
		60	95	17.5	70	3.0	0.60	0.70
	双车道	120	225	22.5	90	3.5	0.70	0.70
		100	190	20	80	3.0	0.70	0.70
		80	170	17.5	70	3.0	0.70	0.90
		60	140	15	60	3.0	0.60	0.60
入口	单车道*	120	230	-(45)	90(180)	3.5	0.6(0.55)	---
		100	200	-(40)	80(160)	3.0	0.6(0.75)	---
		80	180	-(40)	70(160)	2.5	0.6(0.75)	---
		60	155	-(35)	60(140)	2.5	0.6(0.75)	---
	双车道	120	400	45	180	3.5	0.63	---
		100	350	40	160	3.0	0.63	---

	80	310	37.5	150	2.5	0.67	---
	60	270	35	140	2.5	0.50	---

注:*单车道入口一般为平行式的,若为直接式时,采用括号内的参数。

Note : * bicycle path parallel to the entrance of the general , and for direct , using the parameters in parentheses

不仅是我国《公路路线设计规范》对匝道变速车道的长度做了研究和长度规定。国外对变速车道的研究成果也是非常多的。日本的道路设计技术标准(50年代)对变速车道的规定如下:

减速车道规定

(1)减速车道上指从斜线前端到分流端而言,从干道行车带边缘外侧保证所定减速车道宽度的一点到分流端的长度,应大于下表 1.6 所列数值。

(2)减速车道为 2 车道时,不包括外侧车道的斜线长,应为上表的 1.2~1.5 倍。

(3)坡度路段修正,只适合于下坡,修正系数如下表 1.7。

表 1.6

公路等级	第 1 种、第 2 种、第 3 种公路					
设计车速(km/h)	120	100	80	60	50	40
不包含斜线部分的减速车道长(m)	100	90	80	70	50	30
平行式减速车道的标准斜线长(m)	70	60	50	45	40	40

表 1.7

干道平均坡度(%)	0~2	2~3	3~4	4~6
下坡减速车道长修正率	1	1.10	1.20	1.30

加速车道规定

(1)加速车道长度是指从合流端到斜线前端而言,从合流端到保证所规定加速车道宽度的一点的长度,以表 1.8 数值为标准。

表 1.8

公路等级	第 1 种、第 2 种、第 3 种公路					
设计车速(km/h)	120	100	80	60	50	40
不包含斜线部分的加速车道长(m)	200	180	160	120	90	50
平行式加速车道的标准斜线长(m)	70	60	50	45	40	40

(2)加速车道为 2 车道时,不包括外侧车道的斜线长度,应为上表的 1.2~1.5 倍。

(3)坡度路段的修正,只适合于上坡,其修正如下表。

表 1.9

干道平均坡度(%)	0~2	2~3	3~4	4~6
上坡减速车道长修正率	1	1.20	1.30	1.40

其后由于汽车及工业的发展,日本对道路技术标准也做过几次修改。现将 70 和 90 年代的修改列在下表

日本 70 年代规范对变速车道的修改 表 1.10

Japan 1970s to regulate speed lane changes Table 1.10

干道设计车速(km/h)	120	100	80	60	50	40
初期速度(km/h)	90	80	70	60	50	40
到达速度(km/h)	70	65	63	60	50	40

减速车道计算长度(m)

Deceleration lane Length (m)

干道		匝道	匝道设计车速(km/h)				
			25	30	35	40	50
干道设计车速(km/h)	120	—	—	110	110	90	
	100	—	100	90	90	70	
	80	90	80	80	70	50	
	60	80	70	60	60	30	
	50	50	40	30	20	—	
	40	30	20	—	—	—	

加速车道计算长度(m)

Acceleration lane Length (m)

干道		匝道	匝道设计车速(km/h)				
			25	30	35	40	50
干道设计车速(km/h)	120	—	—	250	240	190	
	100	—	200	190	170	120	
	80	180	170	160	150	90	
	60	150	140	130	110	60	
	50	110	100	80	50	—	
	40	50	30	—	—	—	

日本 90 年代规范对变速车道的修改 表 1.11

Japanese norms of the 1990s speed lane changes Table 1.11

变速车道长 (m)	设计车速 (km/h)		高速公路					一般公路			
			120	100	80	60	50	80	60	50	40
减速车道	单车道	单车道	100	90	80	70	50	70	60	50	—
		双车道	150	130	110	90	—	80	—	—	—
加速车道	单车道	单车道	200	180	160	120	90	140	120	90	—
		双车道	300	260	220	180	—	160	—	—	—
三角段	单车道		70	60	50	45	40	50	45	40	
流出角	单、双车道		1/25			1/20		1/15			
流入角	单、双车道		1/40			1/30		1/20			
长度修正系数	正线平均坡度(%)		0~2			2~3		3~4		4~6	
	下坡减速车道		1.00			1.10		1.20		1.30	
	上坡减速车道		1.00			1.20		1.30		1.00	

美国在变速车道的研究方面也做了很多的工作,有很多结论和成果。如下表 1.12。

美国规范对变速车道的规定 表 1.12

American regulations to speed lane of Table 1.12

美国加速车道最小长度 (m)	正线设计车速 (km/h)	正线行驶车速 (km/h)	匝道设计车速(km/h)							
			25	30	40	50	60	70	80	
			匝道行驶车速(km/h)							
			0	23	28	35	44	52	63	70
50	47		60	--	--	--	--	--	--	--
60	52		90	60	55	30	--	--	--	--
70	63		155	135	130	110	80	--	--	--
80	70		225	205	200	180	150	90	--	--
90	78		305	290	285	265	230	170	100	--
100	86		385	370	360	335	300	250	175	90
110	92		465	440	430	405	375	320	245	150
注:表中匝道行驶车速 0 表示在匝道上停车启动的情况										
美国减速车道最小长度 (m)	正线设计车速 (km/h)	正线行驶车速 (km/h)	匝道设计车速(km/h)							
				25	30	40	50	60	70	80
			匝道行驶车速(km/h)							
			0	23	28	35	44	52	63	70
50	47		76	60	56	46	--	--	--	--
60	52		96	80	76	66	48	--	--	--
70	63		114	102	98	86	70	54	--	--
80	70		132	122	118	106	92	80	60	--
90	78		152	142	138	128	118	106	84	60
100	86		168	160	156	148	138	126	104	82
110	92		182	176	172	164	154	140	120	100

美国 坡道 上 变 速 车 道 长 度 修 正 系 数	设计车速(km/h)	减速车道修正系数						
	全部	3%~4%上坡:0.9					3%~4%下坡:0.2	
	全部	5%~6%上坡:0.8					5%~6%下坡:1.35	
	设计车速(km/h)	加速车道修正系数						
		匝道设计车速(km/h)						
		30	40	50	60	70	80	所有速度
		3%~4%上坡						3%~4%下坡
	50	1.20	1.21	1.22	1.22	1.23	1.24	0.7
	60	1.24	1.26	1.27	1.29	1.31	1.32	0.65
	70	1.29	0.31	0.34	0.36	0.38	1.41	0.6
	80	1.33	1.36	1.38	1.41	1.44	1.47	0.6
	90	1.38	1.41	1.44	1.47	1.51	1.54	
	100	1.43	1.47	1.50	1.54	1.58	1.58	1.62
	110	1.48	1.53	1.59	1.64	1.70	1.75	
		5%~6%上坡						
	50	1.24	1.27	1.30	1.33	1.37	1.40	5%~6%下坡
	60	1.31	1.37	1.44	1.50	1.57	1.63	0.6
	70	1.40	1.49	1.58	1.67	1.76	1.85	0.5
	80	1.48	1.61	1.73	1.85	1.98	2.10	0.5
	90	1.60	1.76	1.91	2.05	2.20	2.35	
100	1.72	1.90	2.08	2.25	2.44	2.62		
110	1.85	2.05	2.25	2.45	2.64	2.85		

另外还曾有一组科研专家在对三座互通式立交的减速车道进行实际观测和研究后,推导出了一个比较简便的计算减速车道长度的经验公式^②:

$$L=7.75ST+\frac{[(0.667ST)^2-SR^2]}{2d} \quad (1-4)$$

式中:L—减速车道长度(m)

ST—主线直行车辆的平均车速(m/s)

SR—匝道的平均车速(m/s)

d—制动器制动阶段的减速度(m/s²)

还有一些其他国家的经验,比如象英国、澳大利亚和一些欧洲国家。他们在变速车道长度及变速车道线形方面有很多研究成果,曾提出在变速车道出口(分流后75m处)至环形匝道圆弧间设置一组参数逐一递减的三级复合回旋线(即所谓的“制动曲线”)对变速中的曲率过度有较好的吻合性。

总之,现行的变速车道设计方法在过去相当长一段时间内为我国道路设计人员从事道路设计提供了设计依据,并大多能满足设计指标不是很高的一、二级道路的设计要求。但是,随着我国高速公路的快速发展,对道路设计指标及道路安全要求越

来越高的形势下,运用现行设计方法设计出来的变速车道凸现出越来越多的问题(尤其是减速车道过短引发的交通安全问题)。因此,必须在现行设计方法的基础上寻求一种更加合理、安全的设计方法。

1.4 研究的基本思路和内容

本课题研究的主要思路和内容有以下几个方面:

- ① 变速车道的形式及影响变速车道设计参数的因数分析;
- ② 探索变速车道参数设计的新理论、新途径;
- ③ 贯彻设计新理念,运用运行速度的概念;
- ④ 通过汽车动力学分析,建立车辆的行驶速度预测模型;
- ⑤ 运用交通流理论推导加速长度与交通流量的关系模型;
- ⑥ 通过车辆的行驶速度预测模型推导减速车道的长度,作为以后设计的参考;
- ⑦ 运用加速长度与交通流量的关系模型推导加速车道的长度,作为设计的参考。

1.5 小结

立交变速车道的设计是立交设计的重要组成部分,其设计参数值的选取对立交变速车道功能的发挥及车辆在立交区的运行安全有直接的影响。本章总结了国内外有关变速车道的研究发展状况,指出了我国目前关于变速车道设计参数值选取中存在的问题与不足,并提出了对变速车道设计参数值进一步研究的内容和方法。

第二章 变速车道行车特性及影响设计参数的因数分析

2.1 车辆在主线及匝道上的行驶特性分析

车辆在高速公路主线的行车特征比较简单。车辆一般都做跟驰驾驶,由于高速公路主线设计指标高,车辆在主线都是高速行驶,在设计指标搭配合理的情况下,车速的变化幅度不大;在个别地形困难的路段,由于设计指标前后变化较大,车辆行驶速度的变化也大,但是这种路段一般都应有交通安全警告标志,能使驾驶员有足够的反应时间完成过度行驶。

互通式立体交叉变速车道的设计与汽车在匝道上的行驶特性密切相关。研究汽车在匝道上的行驶特征,目的是根据行车要求来确定变速车道的设计参数值,使变速车道的设计符合汽车的行驶轨迹,保证行车顺适、通畅及安全的要求。

(一)不收费立交匝道的行驶特性

两条正线相交时,转弯车辆是从一条正线通过匝道行驶到另一条正线上的。由于受转弯交通量、地形、地物以及经济性等方面的限制,车辆在匝道上的行驶速度都要低于正线上的行驶速度。也就是说,汽车由一条正线(记为 I)驶出匝道上,再由匝道驶入到另一条正线(记为 II)上,是一种变速行驶状态,它可划分为以下五个行驶过程:

(1)分流行驶过程

分流行驶过程是汽车从正线 I 的直行车流中开始分离行驶,横移到减速车道的行驶过程,在此过程中汽车的行驶速度接近于正线 I 直行车流的行驶速度 v_1 。

(2)减速行驶过程

当正线行车速度较低而不设减速车道时,不存在此行驶过程。但当正线行车速度较高且与匝道上行车速度之差较大时,应设置减速车道。减速行驶过程是汽车从正线 I 车流分流后开始减速,行驶至出口的行驶过程。一般来说,减速行驶的初速度为正线 I 的行驶速度 v_1 ,减速行驶的末速度为驶出道口出口处的行驶速度 v_1 。

(3)匀速或变速行驶过程

这一过程是指汽车从驶出道口的出口开始,行驶到驶入道口的行驶过程,从理论上讲,该过程中汽车应是以 v_1 匀速过程。但因减速行驶末速度大小、驾驶员根据路况所采用的实际行驶速度差异等因数的影响,常常出现变速行驶状态,即由 v_1 减速或加速到驶入道口的入口处行驶速度 v_2 。由于加速能力的限制,特别是载重汽车,一般不能很快加速到 v_1 ,只能加速到 v_2 的速度,载重汽车的 v_2 接近于 v_1 ,而小汽车 v_2 往往大于 v_1 。

(4)加速行驶过程

当正线 II 设加速车道时,加速行驶过程是指汽车从驶入道口的入口加速开始,到

与正线 II 合流之前的行驶过程。汽车加速行驶的初速度为入口速度 v_2 , 加速行驶的末速度大致接近于正线 II 直行车流的行驶速度 v_{II} 。

(5) 合流行驶过程

合流行驶过程是指汽车由加速车道开始横移, 到完全汇入正线 II 直行车流的行驶过程。该过程中汽车以接近于正线 II 直行车流行驶速度 v_{II} 行驶的。

以上五个行驶过程, 也可以合并为分流减速行驶、匀速或变速行驶以及加速合流行驶三个过程, 对应行车速度是由 $v_i - v_1 - v_2 - v_{II}$ 变化。如下图 2.1 所示:

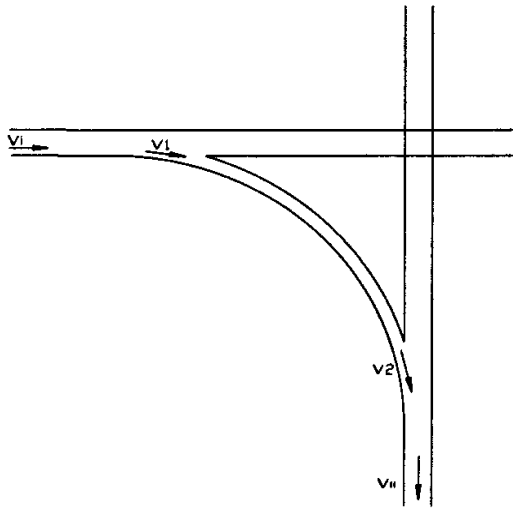


图 2.1 无收费站车辆由主线 I 到主线 II 的行驶速度变化过程

Chart 2.1 the vehicles without toll booths from the main line 1 to the main line 2 1 changes in the speed of the process

(二) 收费立交匝道的行驶特性

对于收费立体交叉, 所有转弯车辆都集中经由连接线行驶, 连接线两端用三路立体交叉或平面交叉与相交道路正线连接, 在连接线上设置收费站。

连接线上设置收费站后, 车辆经过收费站时须停车。这样, 以收费站处车速为零为界, 到达收费站的车辆为减速行驶, 离开收费站的车辆加速行驶。

(1) 车辆由正线 I 至收费站的行驶过程

车辆以 v_i 分流行驶过程, 由 v_i 减速到 v_1 的行驶过程(如不设减速车道时 $v_i \approx v_1$), 以驶出道口处车速 v_1 匀速或变速行驶到连接线入口的车速 v_{21} , 由 v_{21} 在连接线上减速行驶至车速为零。

(2) 车辆由收费站至正线 II 的行驶过程

车辆由收费站处车速为零开始在连接线上加速行驶到连接线出口的车速为 v_{22} ,

以连接线出口速度 v_{22} 开始匀速或变速行驶到驶入道口入口处车速 v_2 ,由 v_2 加速行驶到 v_* ,以 v_* 速度合流到正线II的行驶速度。

行驶速度变化过程如下图 2.2 所示:

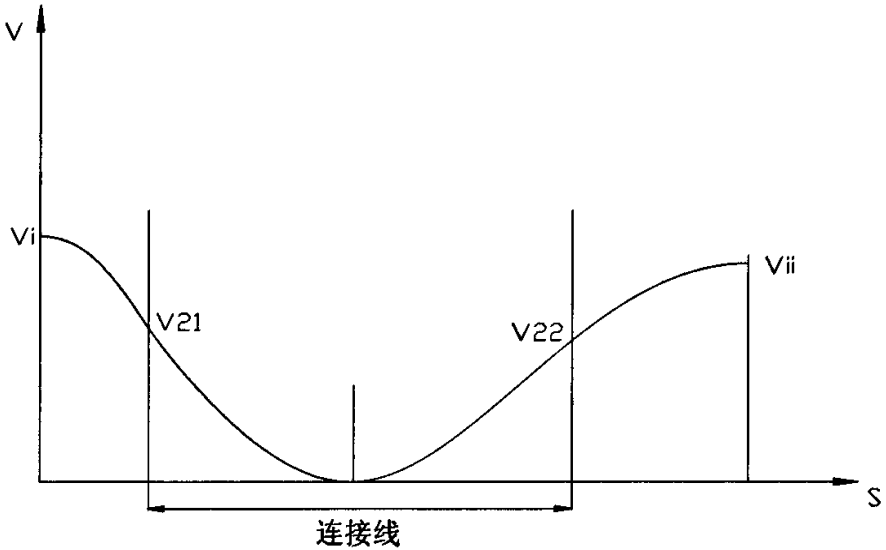


图 2.2 车辆由收费站至正线的行驶速度变化过程

Chart 2.2 line of vehicles from the toll booths positive changes in the speed of the process

(三)安全分析及对变速车道的要求

匝道各组成部分的行车状态不同,它们对汽车行驶的安全、影响程度及可能发生交通事故的类型也是不同的,如下图 2.3^④所示

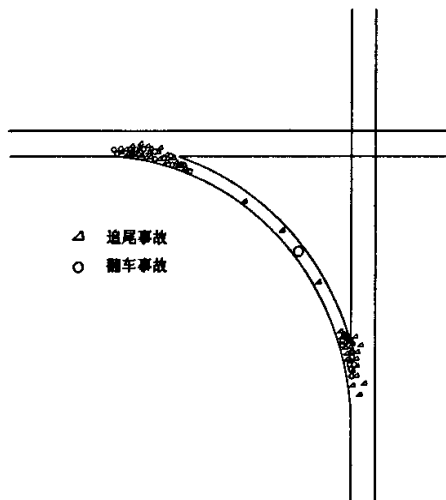


图 2.3 匝道各组成部分事故统计

Chart 2.3 Ramp various components of accident statistics

从上图可以看出,交通事故大部分都发生在匝道的出、入口(变速车道设计范围内)处,分析如下:

分流减速行驶过程容易发生汽车撞在前面突然减速车辆尾部的追尾撞车事故;驶出道口的出口端和匀速段的曲率半径最小点附近容易发生因减速不及而导致的恶性翻车事故;入口端的驶入角大且通视条件不好时,容易发生与直行车辆碰撞的交通事故;加速合流行驶过程中容易发生与直行车辆侧向挤撞事故。

其中以出口和入口附近翻车或撞车事故对安全性影响最大,尤其是出口端的恶性事故应尽力避免发生。

根据易发生交通事故的类型和性质,对出入口的变速车道设计提出了一定要求。对于出口端及匀变速段的翻车事故,主要原因减速不及而车速过高造成的,个别情况是因误行来不及返回正线而在出口发生翻车事故。实际上,该处的翻车事故与其之前的减速行驶有很大的关系,,减速车道的起点不能明确辨别、减速车道的长度不够或出口附近的线形指标过小都会引起翻车事故,一般来说,当避免了出口附近的翻车事故,其后匀变速段的事故率就会大大减少。由次可见,在正线上(尤其是高速道路)设置足够长的减速车道,供分流后的车辆减速之用是非常必要的;同时,减速车道的平面线形采用直线对减速行驶更为有利,至少应保持与正线相同的线形指标。

总之,匝道出(入)口的安全性主要与到达车速、驶出(入)角、加(减)速车道,以及匝道与正线的通视条件等因素有关。若设置俩足够的加(减)速车道和具有良好的通视条件,出(如)口附近的交通事故是可以预防和减少的。

2.2 影响变速车道设计参数的因数分析

车辆在变速车道上行驶受到许多因素的影响,这些因素有的来自道路线形、路面宽度及状况等因素的影响,有来自汽车动力特性、车况等因素的影响,有来自驾驶员生理、心理特性等因素的影响,也有来自自然环境、交通环境等因素的影响。从系统工程讲,上述众多影响因素可概括为人、车、路与环境系统,系统中各因素之间互相影响、相互作用,构成一个封闭的道路交通系统。系统不是静止的,而是动态变化的,直接体现在车辆的运行速度上,最终影响变速车道的设计参数。系统中各因素对车辆运行速度的影响不尽相同,有时某些因素会起主导作用,有时它可能又是次要的,甚至可以忽略不计,因此,影响变速车道设计参数的因素是多方面的。

2.2.1 驾驶员因素的影响

影响车辆运行速度的各种因素都是通过驾驶员的心理和生理特性并操纵车辆体现出来。

1. 驾驶员驾驶操作过程

驾驶员驾驶操作是由三个不断循环的过程构成:了解情况、作出判断决定及操

作车辆运行,如图 2.4 所示。驾驶员通过视觉、听觉及触觉等获取外部信息,据此产生自己的判断和决定,通过操纵机构传递给汽车使之产生相应运动。在此操作过程中会出现内部的和外部的各种干扰,内部干扰如驾驶员的情绪、疲劳状况等,外部干扰如侧向风、道路条件等。

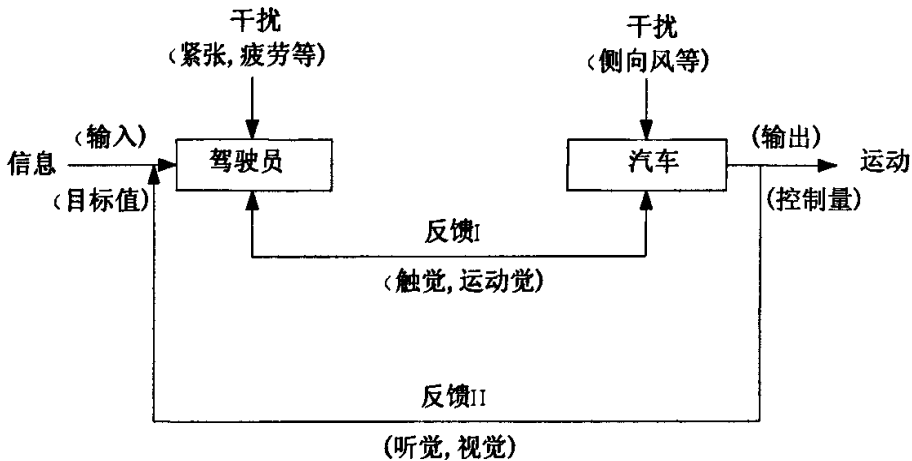


图 2.4 驾驶员操作图

Chart 2.4 the drivers operating plan

2. 视觉特性

驾驶员视觉主要表现在视力、视野、适应明暗、眩目、错觉、反应时间等方面,行驶中驾驶员有 80% 以上的信息是通过视觉获得的,这些信息直接影响着驾驶员的判断、操作。驾驶员的眼睛是保证行车安全的重要感觉器官,视觉特性与交通安全密切相关。

驾驶员的视力与安全运行速度的关系见表 2.1,为了保证安全快速地运行,驾驶员必须有很好的视力。

驾驶员视力与安全运行速度的关系 表 2.1

Driver vision and the safe operation of the relationship between speed
table2.1

视力	安全运行极限车速(km/h)	安全感	视力	安全运行极限车速(km/h)	安全感
1.0	>50	安全.舒适	0.5	20~30	产生危险感,小心驾驶
0.75	30~50	产生不安全感,不舒适	0.25	<20	有显著危险感,无法驾驶

视野与交通安全有一定关系,若驾驶员视野过小,不利于行车安全,而且随车速的增加,驾驶员的有效视野会变窄。

人眼对外界光线的明暗变化有一个适应调节过程,不可能在一瞬间完成。当外界光线突然变化时,人眼便会出现短时间的视觉障碍,影响行车安全。光线突然由明变暗时适应过程称为“暗适应”,反之称为“明适应”。明适应的过程较快,暗适应则慢得多,对行车速度影响很大。

当强烈光线直接射入人眼时会引起眩目,导致驾驶员视线障碍和心理紧张,危及到行车安全和行驶速度。

错觉是驾驶员长时间行驶后,对运行速度和距离的判断产生误差,错觉容易诱发交通事故。

驾驶员受到刺激后至做出反应的时距为反应时间,反应时间的长短直接关系到交通安全。

2. 心理特性

当驾驶员驾车过程中遇到外界突然干扰会出现心理紧张情绪,严重影响驾驶员的反应、判断和驾驶操作行为,表现为反应迟缓、判断失误、错误操作等,直接危及到行车安全。

长时间驾驶或无外界刺激的情况下,驾驶员容易产生心理疲劳,使注意力不集中、思维迟缓、反应速度降低、情绪躁动等,影响到驾驶员的正常判断、思维、操作处理等。

3. 本文对驾驶员影响因素的考虑

假定驾驶员总是倾向于采用较高速度行驶、不冒险、驾驶技术熟练。因此,认为驾驶员正常操作汽车、视力良好、暗适应能力较强、心理表现正常及无疲劳驾驶现象等。

2.22 汽车动力性能因素的影响

汽车的动力性能是指汽车所具有加速、减速、上坡、下坡及最高速度等性能。汽车的动力性能越好,其行驶速度就越高,所克服的行驶阻力也就越大。

不同的车型,具有不同的动力性能,其运行速度也就不同。作为道路设计采用的代表车型为设计车辆,公路设计车辆一般分小客车、载重汽车和拖挂车三类。在公路设计中主要考虑小客车和中型载重汽车,小客车的车种主要有桑塔纳、奥迪、红旗、富康、夏利、奥拓等,中型载重汽车有东风、解放等。

根据我国车辆调查,目前道路上行驶的主要以小客车和中型货车为主,大型载重汽车比例有上升的趋势。根据车辆动力性能,小客车选用桑塔纳 SATANA 为代表车型,中型载重汽车选用解放 CA141 为代表车型。下表 2.2 为部分国产汽车的单位质量功率数。

部分国产汽车单位质量功率数 表 2.2

Domestic auto parts unit mass power Tables 2.2

车型	功率 (kw)	最高速度(km/h)	总重 (t)	单位质量功率 (kw/t)
桑塔纳 SATANA	62.7	169	1.46	42.95
富康 ZX	54	170	1.355	39.85
奥迪 100	66	176	1.71	38.60
夏利 TJ7100	38	145	1.17	32.48
依维柯	76	120	4.5	16.89
上海 SH130	55.2	85	3.95	13.97
北京 BJ130	55.2	85	4.075	13.55
解放 CA140	103	88	9.415	10.94
东风 EQ140	99.3	90	9.29	10.69
解放 CA141	99	107	9.31	10.63
黄河 JN162	153	80	17.45	8.77
交通 SH142	66.2	70	8.065	8.21
黄河 JN150	117.7	71	15.06	7.82

解放 CA141 原始计算数据

项目	计算数据	单位
N_{max}	99	kw
M_{max}	372	N · m
M_N	315.1	N · m
n_N	3000	r/min
n_M	1300	r/min
n_{max}	3450	r/min
G	91238	N
K	0.9	
A	4.383	m ²
R	0.485	m
η_T	0.835	
U	1.00	
δ_1	0.04	
δ_2	0.045	
i_0	5.897	
变 惯 速 性 箱 力 速 系 比 数 $i_k \delta$	一档	7.640/3.667
	二档	4.834/2.092
	三档	2.856/1.407
	四档	1.895/1.202
	五档	1.377/1.125
	六档	1.000/1.085

桑塔纳 SANTNA 原始计算数据

项目	计算数据	单位	
N_{max}	62.7	kw	
M_{max}	162.4	N · m	
M_N	107.1	N · m	
n_N	5600	r/min	
n_M	3200	r/min	
n_{max}	5870	r/min	
G	14308	N	
K	0.38		
A	1.898	m ²	
R	0.287	m	
η_T	0.90		
U	1.00		
δ_1	0.04		
δ_2	0.06		
i_0	4.111		
变 惯 速 性 箱 力 速 系 比 数 $i_k \delta$	一档	3.445/1.752	
	二档	1.789/1.232	
	三档	1.286/1.139	
	四档	0.909/1.090	

解放 CA141 加速性能

项目	i_g	δ	临界车速 (km/h)	最高车速 (km/h)	最大加速 度(m/s ²)	最小加速 度(m/s ²)
I	7.640	3.667	4.78	13	0.96	0.87
II	4.834	2.092	8.25	21.96	1.12	0.92
III	2.856	1.407	14.3	36.9	0.85	0.63
IV	1.895	1.202	23.2	58.7	0.56	0.38
V	1.377	1.125	36.8	90	0.32	0.12

桑塔纳 SANTNA 减速性能

主线设计速度(km/h)	120	100	80	60	40
主线平均车速(km/h)	100	85	70	55	40
减速度(m/s ²)	2.72	2.65	2.59	2.54	2.51
减速度平均值(m/s ²)	2.602				

2.23 公路平、纵、横指标因素的影响

公路本生的几何条件并不直接影响变速车道的设计参数,而是直接影响车辆的

运行速度(车辆运行速度直接影响变速车道各设计参数),从而间接影响变速车道的各设计参数。公路的影响因素主要是指公路平、纵、横几何构成指标以及平、纵线形组合。

(一)平曲线半径与运行速度的关系:

根据参考文献④,平曲线与运行速度的关系图如下

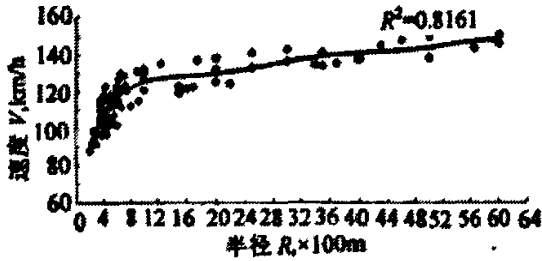


图 2.5 无超车影响下的 R-V 关系

Chart 2.5 No overtaking influence of the relations R-V

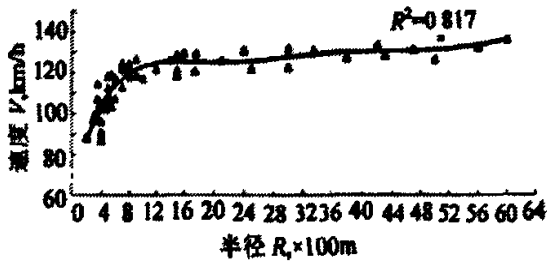


图 2.6 有超车影响下的 R-V 关系

Chart 2.6 Under overtaking influence of the relations R-V

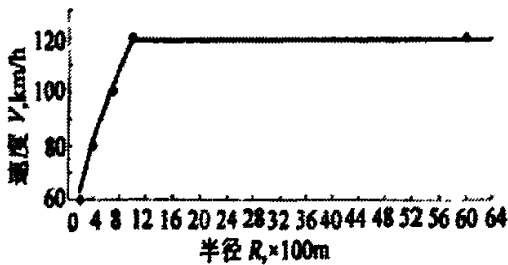
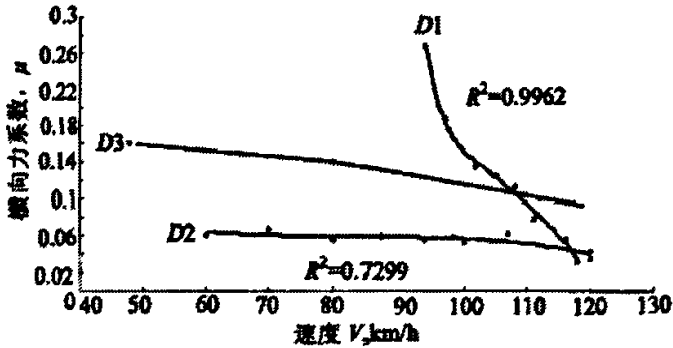


图 2.7 规范提供的 R-V 关系

Chart 2.7 Regulating the relations R-V

图 2.8 V- μ 关系曲线比较Chart 2.8 The relations V- μ

从上面图形中可以得出:

(1) 驾驶员在绝大部分不同半径的弯道上, 行驶车速都高于设计车速, 且以半径 $R_0=1000\text{m}$ 为界, $R < R_0$ 范围内, R 越小, 驾驶员的行车速度就比对应的设计车速大得越多, 在 $R > R_0$ 范围内, 驾驶员的行车速度随 R 的增大缓慢地增加, 并比对应的设计车速大得不象 $R < R_0$ 范围时那么多。

(2) 与运行速度相对应, 在 $R < R_0$ 范围内, 运行速度与横向力系数的关系曲线非常陡峭, 并都在《公路路线设计规范》推荐的设计速度与横向力系数关系曲线之上。说明在这些弯道上, 半径越小, 驾驶员在弯道上行车时就感到越不舒适, 行车所获得的安全性也越小。

(二) 纵坡坡度与运行速度的关系:

根据参考文献⑤, 纵坡坡度与运行速度的关系图如下

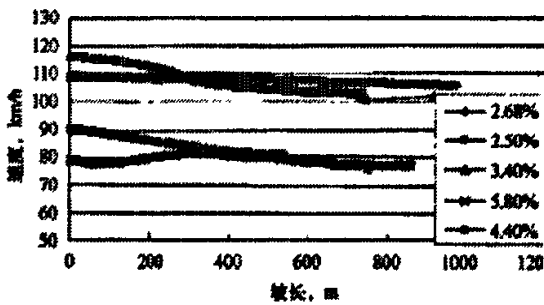


图 2.9 车辆上坡运行速度图

Chart 2.9 Vehicle operating speed uphill plan

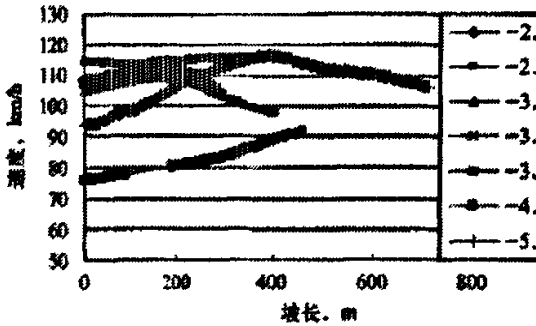


图 2.10 车辆下坡运行速度图

Chart 2.10 Vehicle operating speed downhill plan

从图形中可得出坡道上车辆运行速度的变化特征:

(1)上坡时的运行速度:在 3% 以下的坡道上行驶时,速度只受到轻微的影响;但随着纵坡坡度的增加,车辆进入上坡路段后,基本呈减速趋势,而且随坡度的增加,车辆减速的幅度也逐渐增大,在前 500m,减速幅度比较大,500m 平均减速 15~30km/h。而后 500m 平均减速为 8~20km/h。在运行 800m 后,速度渐渐趋于平稳。在长大上坡行驶时,运行速度下降幅度基本在 25km/h。

(2)下坡时的运行速度:车辆在下坡时,有明显的加速过程。可以看出随坡度的增加,加速幅度也在变化,同时随着坡长的增大,加速增幅逐渐减小。当速度超过 130km/h,一般便不再加速。对于坡度大于 4% 的下坡过程,坡长越长未必行车速度就增加,因为对多数车辆而言,当速度增加到期望值时,驾驶员将根据车辆的性能和出于安全的考虑,保持稳定的行车速度。长大下坡的速度增幅同上坡减速的速度变化相同,基本也在 25km/h 左右。

(三)横断面指标与运行速度的关系:

根据参考文献⑥,横断面各指标与运行速度的关系如下图表:

路肩宽度与车辆行驶速度关系统计表 表 2.3
Shoulder width and the speed of vehicles relations table2.3

车道宽度	3.5m				
路肩宽度 (米)	平均速度 (km/h)	速度标准差 (km/h)	地点桩号 (km)	样本总量 (架)	直线段长度 (m)
2.8	105.49	13.01	400	53	800
2.5	101.17	12.72	404	46	800
1.8	112.01	13.69	458	72	800
1.75	107.15	15.28	440	53	1500
1.6	97.85	12.35	421	64	800

车道宽度	3.75m				
路肩宽度 (米)	平均速度 (km/h)	速度标准差 (km/h)	地点桩号 (km)	样本总量 (辆)	直线段长度 (m)
2.3	119.40	23.90	503	82	1200
2.3	105.34	15.81	513	38	1000
2.3	119.07	15.70	京沪大邱庄	13	>1500

对于 3.5m 的行车道而言,路肩宽度对于行车速度的影响比较明显。行车速度随路肩宽度的增大而增大,平均速度增大的同时,速度标准差也随之增大。相对与 3.5m 的行车道而言,路肩宽度对于 3.75m 的行车道运行速度的影响要比 3.5m 的行车道要小。

路缘宽度与车辆行驶速度关系统计表 表 2.4
Curb width and the speed of vehicles relations table2.4

车道宽度	3.5m				
路缘宽度 (米)	平均速度 (km/h)	速度标准差 (km/h)	地点桩号 (km)	样本总量 (辆)	直线段长度 (m)
0.5	102.80	12.97	400	78	800
0.5	105.15	12.97	404	38	800
0.5	115.16	15.07	458	73	800
0.5	113.93	15.80	440	108	1500
0.5	103.80	12.26	421	94	800

车道宽度	3.75m				
路缘宽度 (米)	平均速度 (km/h)	速度标准差 (km/h)	地点桩号 (km)	样本总量 (辆)	直线段长度 (m)
0.5	122.60	21.05	503	84	1200
0.85	120.15	22.29	513	86	1000
0.16	116.50	13.90	京沪大邱庄	65	>1500

当路缘宽度小于 0.5m 时,运行速度随着路缘宽度的增加而增大,但当路缘宽度超过 0.5m 后,运行速度基本维持不变,可以认为对于路缘宽度大于 0.5m 以上的路缘来说,继续增加路缘宽度对于车辆的运行速度影响不大。

车道宽度与车辆行驶速度关系统计表 表 2.5

车道宽度	路肩宽度	平均速度	速度标准差	地点桩号	样本量
3.5	1.8	112.01	13.69	458	72
3.5	1.75	107.15	15.28	440	53
3.75	2.3	119.40	23.90	503	82
3.75	2.3	105.34	15.81	513	38
3.75	2.3	119.07	15.70	大邱庄	13

车道宽度	路缘宽度	平均速度	速度标准差	地点桩号	样本量
3.5	0.5	115.16	15.07	458	73
3.5	0.5	113.93	15.80	440	108
3.75	0.5	122.60	21.05	503	84
3.75	0.85	120.15	22.29	513	86
3.75	0.16	116.50	13.90	大邱庄	65

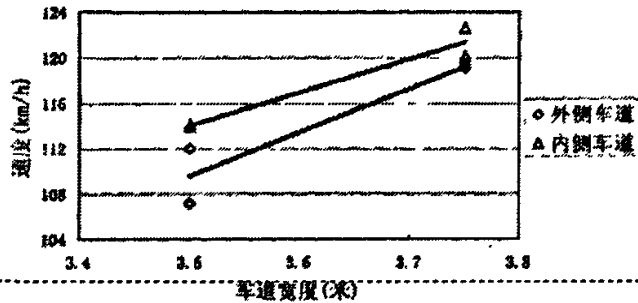


图 2.11 车道宽度与车辆行驶速度关系

Chart 2.11 Lane width and traffic speed relations

行车道宽度的变化对车辆运行速度的影响要大于路肩、路缘宽度变化对于车辆速度的影响。当车道宽度从 3.5m 变化到 3.75m 时,车辆运行速度的变化非常明显,外车道的速度提升 10km/h 左右,内侧车道速度也提升 8km/h 左右。相对于内侧车道,外车道运行速度的变化要大些。

2.24 道路设施因素的影响

道路交通标志和标线也是影响车辆安全运行的重要组成部分,它是用图形、文字、符号、标线、箭头等来传递道路交通信息,实现交通管制的特定“交通语言”。高速公路立交的标志、标线设计与立交的几何构造设计同等重要,就象计算机系统的软件和硬件的关系一样。由于高速公路的封闭性,各向来车在立交处完成驶出和驶入高速公路的运行,因而标志和标线成为正确引导车辆运行的重要设施,也就成为影响道路几何设计的重要因素。

(一)标志

道路交通标志是用图形符号和文字传递特定的信息,用以管理交通的安全设施。交通标志分为主标志和辅助标志两类。主标志又分为:

(1)警告标志:警告车辆、行人注意危险地点的标志。它共包括标明交叉口情况的标志、路线平、纵、横线形变化标志、交通组织形式标志、事故多发地点、铁路道口、隧道、施工等 33 中标志。通常警告标志采用黄底、黑边、黑色图案,形状为等边三角形,且顶角向上。

(2)禁令标志:禁止或限制车辆、行人交通行为的标志。包括禁止非机动车通行、

禁止驶入、禁止停车、限速、限宽、限高等 35 种标志。除个别标志外,禁令标志的颜色为白底、红圈、红杠、黑图案。图案压杠,且形状为圆形或顶角向下的等边三角形。

(3)指示标志:指示车辆、行人行进的标志。如左、右、直行标志,单向行驶标志等 25 种形式,其颜色为蓝底、白图案,形状分为圆形、长方形和正方形三种。

(4)指路标志:传递道路方向、地点、距离信息的标志。指路标志的颜色,除里程碑、百米桩、公路界碑外,一般公路为蓝底白图案,高速公路为绿底白图案。指路标志的形状,除地点识别标志外,为正方形和长方形。

辅助标志附设在主标志下,起辅助说明作用,其颜色为白底、黑字、黑方框,形状为长方形,安装在主标志下面,紧靠主标志下缘。

除此之外,还有路栏、道口标注、锥形交通路标及导向标。

标志杆为竹节式方杆,指示标志杆和警告标志杆为黑白相间,禁令标志杆为红白色相间,标志杆设在公路右侧,并与车行道侧面保持 30~50 厘米的安全距离。标志可采用安装在标志杆上和横过公路悬空的铁索上两种形式,安装在标志杆上的标志安装高度从地面到标志的下缘为 180~200 厘米;悬挂的标志,其下缘应在公路的净高界限之外。

目前我国高等级公路上广泛采用反光标志,以保证标志能在夜间起作用。

在高速公路的主线,常采用可变信息标志。这是一种在交通、公路、气候等状况的变化而可改变内容的标志,用作速度限制、车道控制、公路状况、交通状况、气象状况及其他内容的显示。

(二)标线

公路交通标线是由各种路面标线、箭头、文字、立面标记、突起路标和路边线轮廓标等构成的交通安全设施。它的作用是管制和引导交通,可以和标志配合使用,也可单独使用。

(1)车行道中心线:在未设中央分隔带的公路上,用车行道中心线来分隔对向行驶的交通流,一般设在车行道的中线上,中线用白色或黄色划线,它又分为中心虚线、中心双实线和中心虚实线。在用地紧张无法设置中央分隔带的高速公路上主要采用中心双实线,严格禁止车辆跨线超车或压线行驶。

(2)车道分界线:在多车道的高速公路上用一条白色虚线来分隔同向行驶的交通流。

(3)车行道边缘线:它是一条白色在路缘带内侧的实线,用来表示车行道的边线。

(4)停止线:在有交通信号控制和设有停车让行标志的交叉路口,均应设置停车线,其颜色为白色实线,其意义为车辆等待放行信号,或停车让行的停车位置。在高速公路匝道与相交公路形成的交叉口采用暂时停车管制或设信号控制时,就需设置停

车线。

(5)减速让行线:又叫前方优先预告标线。它为两条平行的白色虚线。在无信号管制的菱形和部分苜蓿叶型立交的匝道与相交公路连接路口,在暂时停车的进口道上,希望积极地设“减速让行线”,并配备必要的减速让行标志。减速让行标志应与停车线保持一定的距离,通常为 50~100 米,减速让行线的辨认距离与路面湿润状况有关,可采用 20 米。

(6)导流线:为了正确的引导车辆进入、驶出高速公路,在匝道与相交公路连接处除需要设置必要的导向岛和导流设施外,导流线是正确诱导车辆运行的重要指示线,导流线一般用于过宽、不规则或行驶条件比较复杂的交叉口,颜色为白色带箭头的实线,车辆不得压线行驶。

(7)出入口标线:出入口标线主要用于高速公路和其他采用立体交叉并有必要划这种标线的公路上,是为驶入或驶出匝道车辆提供安全交汇,减少与突出部分缘石碰撞的标线。包括出入口的横向标线,三角地带的标线,其划线采用白色,标线按直接式和平行式两种设置(如图 2.12)

(8)立面标记:为了提醒驾驶者注意,在车行道内或近旁有高出路面的构造物,以防止碰撞而设的标记。立面标记可设在立交的跨线桥处,其颜色采用黄黑相间的倾斜线条。

(9)突出路标的路边线轮廓标:用以指示公路方向、车行道边界及危险路段的位置和长度,起辅助和加强标线的作用,可单独使用,以替代路面标线,通常用来标记高速公路的中心线,车道分界线、边缘线,也可用来标记弯道、岔路口、车行道宽度变窄、路面障碍物等危险段。

(10)公共汽车车站标线:如在立交内或附近设置公交车站,则应采用有通向专门的分离引道和停靠站位置的港湾式停靠站。

除上述的介绍外,在公路上还常设人行横道线、车行道宽度渐变段标线、停车位标线、左转导向线及限制车辆行驶的路面文字标记。

在高等级公路上,标线一般采用反光材料制成,以利于夜间行车。

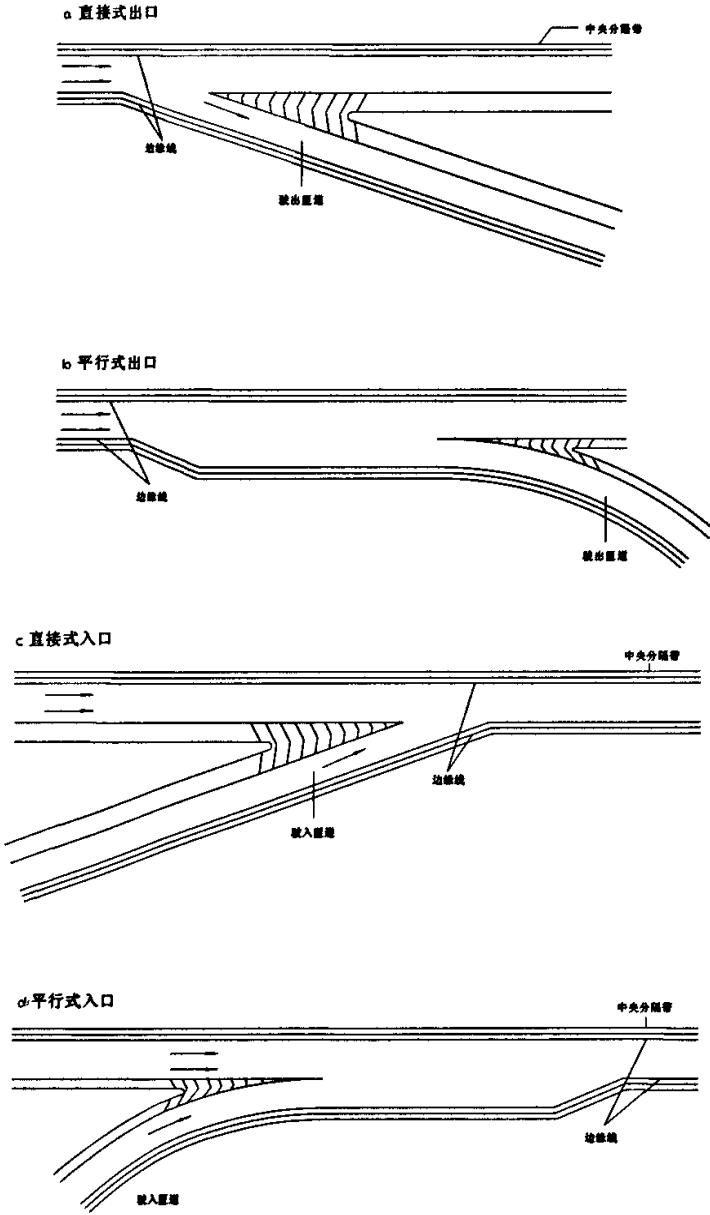


图 2.12 出入口标线设置

Chart 2.12 Marking exits installed

第三章: 运行速度预测模型的建立

自从上个世纪 30 年代,美国为使道路设计具有良好的一致性,或者说是指标均衡行,才用了以计算行车速度为基础的设计方法,这一方法已经被当今世界很多国家采用,(我国的《道路线形设计规范》就是以这种思想指导道路路线设计的)其合理的成分不容质疑;但是近几十年来,随着汽车尺寸加大,功率提高,汽车运行速度与“计算行车速度”有了很大的差别,也不再是等速运行,使公路运行的事故率和严重性都相应增加(其中包括了本文研究的重点—互通区变速车道设计参数)。人们纷纷将研究的焦点转向计算行车速度,并对此提出质疑,美国和当今很多国家都先后提出了建立行驶速度基础上的道路设计理论,这种新的设计理念是建立在车辆行驶速度预测模型的基础上,即将道路几何线形作为输入参数对未来行驶速度进行预测,再从预测速度的安全性反馈线形设计。

所谓行驶速度,也就是人称运行速度或行车速度,是指驾驶人沿着指定公路行驶,在良好的气候条件和交通条件下,汽车在能保持的最高安全速度。本文主要是通过单个车辆按照在合理功率大小条件下的行驶驱阻平衡原理计算,并进行平面和横断面修正得到。与目前国外大多采用 $V_{85\%_{\text{湿}}}$ 代表行驶速度有一定的区别,所谓 $V_{85\%_{\text{湿}}}$ 是指在潮湿而干净的路面上,行车不会受到阻碍的情况下 $V_{85\%_{\text{湿}}}$ 的车辆不会超过的速度,也称为 $V_{85\%_{\text{湿}}}$ 位车速。

建立行驶速度预测模型,即公路路线方案和行驶速度之间的数学关系,是为了弥补现时在公路设计中采用计算行车速度所带来的一些不足,具体到本文就是为了解决由计算行车速度而计算出的互通区变速车道设计参数的不足。

运行速度预测模型是在初步确定路线平、纵面各项技术指标的基础上,根据汽车动力性能建立的,对于驾驶员和环境影响因素,本文假定驾驶员技术操作熟练、环境条件良好,不考虑这些因素,建立运行速度预测模型的技术路线是先分别建立横向加速度、轴向加速度和竖向加速度与速度模型,并分别建立其加速度指标模型,最后建立运行速度预测模型。

3.1. 横向加速度模型

横向加速度是因平曲线的存在而产生。汽车在平曲线上行驶时,产生水平向外的离心力 f_c ,一部分由平曲线的超高抵消,剩余部分由人体感觉承受,人感觉不舒适时所承受的离心力大一些,相反,感觉舒适时承受的离心力要小一些。

根据本问的定义,在运行速度预测模型中暂不考虑平曲线超高,只考虑平曲线半径,因此假定离心力全部由人体感觉承受,则汽车在曲线上行驶的横向加速度计算公式为:

$$a_k = \frac{v^2}{13R_p} \quad (3-1)$$

式中: a_k --- 横向加速度(m/s^2)

v --- 汽车行驶速度(km/h)

R_p --- 圆曲线半径(m)

过度段的横向加速度

当平曲线设缓和曲线时,应在缓和曲线内线性过度变化,直线上横向加速度为零。缓和曲线上任一点处横向加速度为:

$$a_k = \frac{v^2 l}{13R_p l_s} \quad (3-2)$$

式中: l --- 缓和曲线起点距任意点的距离(m)

l_s --- 缓和曲线长度(m)

3.2 轴向加速度模型

轴向加速度是因为汽车在纵断面上加速和减速行驶产生的,轴向加速度方向为汽车前进方向,轴向加速度的大小与汽车的动力性能和行驶阻力有关。

行驶阻力:

根据参考文献,行驶中的汽车需要不断地克服运动中所遇到的各种阻力,这些阻力包括空气阻力 R_w ,道路阻力 R_R 和惯性阻力 R_I ,计算公式为:

$$R_w = \frac{KAV^2}{21.15} \quad (3-3)$$

$$R_R = G(f + i) \quad (3-4)$$

$$R_I = \delta \frac{G}{g} a_z \quad (3-5)$$

式中: K --- 空气阻力系数;

A --- 汽车迎风面积(m^2);

V --- 汽车行驶速度(km/h);

G --- 汽车重力;

f --- 滚动阻力系数;

i --- 公路纵坡度(%),上坡为正,下坡为负;

δ --- 惯性力系数;

g --- 重力加速度(m/s^2);

a_z ——汽车轴向加速度(m/s^2),加速时为正,减速时为负。

汽车行驶驱动力:

汽车在公路上行驶,必须要有足够的驱动力来克服各种行驶阻力,汽车的驱动力来自它的发动机。

根据参考文献⑦,汽车的扭矩 M 和驱动力 T 为:

$$M = M_{\max} - \frac{M_{\max} - M_N}{(n_N - n_M)^2} \left(n_M - \frac{V\gamma}{0.377r} \right)^2 \quad (3-6)$$

$$T = \frac{UM\gamma\eta_r}{r} \quad (3-7)$$

式中: M_{\max} ——最大扭矩($N \cdot m$);

M_N ——最大功率所对应的扭矩($N \cdot m$);

n_N ——最大功率所对应的转数(r/min);

n_M ——最大扭矩所对应的转数(r/min);

V ——汽车行驶速度(km/h)

γ ——总变速比, $\gamma = i_0 \cdot i_k$;

r ——车轮工作半径(m);

U ——负载(%),本文取用 100%;

η_r ——机械效率。

汽车行驶的动力因数:

根据定义,动力因数 D 表示某型号汽车在海平面高程上,满载情况下,每单位车重克服道路阻力和惯性阻力的性能。用公式表示为:

$$\begin{aligned} D &= \frac{UM\gamma\eta_r}{rG} - \frac{KAV^2}{21.15G} \\ &= PV^2 + QV + W \end{aligned} \quad (3-8)$$

$$\text{式中: } P = -\frac{1}{G} \left[\frac{7.036U\gamma^3\eta_r(M_{\max} - M_N)}{r^3(n_N - n_M)^2} + \frac{KA}{21.15} \right]$$

$$Q = \frac{5.305U\gamma^2\eta_r n_M}{r^3 G (n_N - n_M)^2} (M_{\max} - M_N) \quad (3-9)$$

$$W = \frac{U\gamma\eta_r}{rG} \left[M_{\max} - \frac{M_{\max} - M_N}{(n_N - n_M)^2} n_M^2 \right] \quad (3-10)$$

其余符号意义同前。

因此轴向加速度可推导如下:

根据参考文献⑦,汽车的轴向加速度 a_x 可用下式表示

$$a_x = \frac{\lambda g}{\delta} (D - \psi) \quad (3-11)$$

式中: λ ——海拔荷载修正系数;

ψ ——道路阻力系数($\psi = \frac{f+i}{\lambda}$)。

在某一瞬时,汽车的行驶状态有以下三种:

当 $\psi < D$ 时, $a_x > 0$,加速行驶;

当 $\psi = D$ 时, $a_x = 0$,等速行驶;

当 $\psi > D$ 时, $a_x < 0$,减速行驶;

汽车的最高速度和临界速度:

某一排挡汽车的最高速度为:

$$V_{\max} = \frac{0.377n_{\max}}{\gamma} \quad (3-12)$$

式中: V_{\max} ——最高速度(km/h);

n_{\max} ——汽车发动机的最大转数(r/min)。

临界速度即汽车稳定行驶的最低速度,其值为:

$$V_t = -\frac{Q}{2P} \quad (3-13)$$

式中: V_t ——临界速度(km/h)。

汽车的换档行驶:

汽车在坡道上行驶时,对于上坡有加速换档和减速换档操作。对于下坡行驶,一般减速换档操作比较困难,同时,因下坡行驶中加速度为正,汽车处于加速行驶状态,不会出现减速换档操作,若要减速行驶,只能采用制动措施减速。

根据上面公式,当 $a_x > 0$ 时加速行驶,驾驶员进行加速换档操作,当 $a_x < 0$ 时减速行驶,驾驶员进行减速换档操作。

汽车在动力特性图反映的是不同档位动力因数与行驶速度的关系曲线。由于操作换档时间短促,换档过程所经历的时间忽略不计,因此无论是加速换档或是减速换档应以换档时间最短、换档前后速度连续为原则。加速换档或减速换档的换档速度按以下方法确定:

在动力特性图中,如果相邻两档位的动力特性曲线相交,则采用相交点的速度作为换档速度 V_H 。设第 k 档位的动力因数为 D_k ,第 $k+1$ 档位的动力因数为 D_{k+1} ,则

$$D_k = D_{k+1} \quad (3-14)$$

$$(P_k - P_{k+1})V_H^2 + (Q_k - Q_{k+1})V_H + (W_k - W_{k+1}) = 0 \quad (3-15)$$

将各排挡下的 P、Q、W 代入上式,就可以求解出换档速度 $V_H(\text{km/h})$

如果相邻两档位的动力特性曲线不相交,第 k 档的加速换档速度采用该档的最高速度 V_{\max}^k ,减速换档速度采用第 k-1 档的最高速度 V_{\max}^{k-1} 。

汽车行驶状态是加速换档还是减速换档可根据轴向加速度的正负确定,轴向加速度是连续的,只有等速行驶时其值为零。

各档的最大爬坡坡度可用下式计算:

$$i_{\max} = \text{tg}\alpha_{\max}$$

$$\alpha_{\max} = \arcsin \frac{\lambda D_{\max} - f\sqrt{1 - \lambda^2 D_{\max}^2 + f^2}}{1 + f^2}$$

式中: D_{\max} ——各排挡的最大动力因子,即 $D_{\max} = PVk^2 + QV = W$

3.3 竖向加速度模型

竖向加速度是由于纵断面上竖曲线的存在而产生的,汽车行驶在竖曲线上时,产生竖向离心力,这个力在凹型竖曲线为增重,在凸型竖曲线上为减重,增重与减重达到一定程度时,旅客就有不舒适的感觉。不同半径的竖曲线,具有不同的竖向加速度,其值为:

$$a_v = \frac{V^2}{13R_v} \quad (3-16)$$

式中: a_v ——竖向加速度(m/s^2);

V ——汽车行驶速度(km/h);

R_v ——竖曲线半径(m)。

竖向加速度的过度

直线段竖向加速度应为零,因竖曲线一般采用抛物线,因此 R_s 为曲率最大处的曲率半径,设定为变坡点处,该点到两端竖曲线起、终点之间按线性变化过度。

$$a_v = \frac{V^2}{13R_s} \cdot \frac{l}{T} \quad (3-17)$$

式中: T ——竖曲线切线长(m);

l ——竖曲线上任意点到起(终)点的距离(m)。

3.4 加速度模型

汽车在公路上正常行驶,如加速、减速或等速行驶,是由汽车的动力性能决定的,直接表现形式就是汽车的行驶速度。因此,影响运行速度大小的决定性因素是汽车的动力,在某一档位,不同的动力因数可按不同的行驶速度克服不同的行驶阻力。加速度模型为图 3.1 所示:

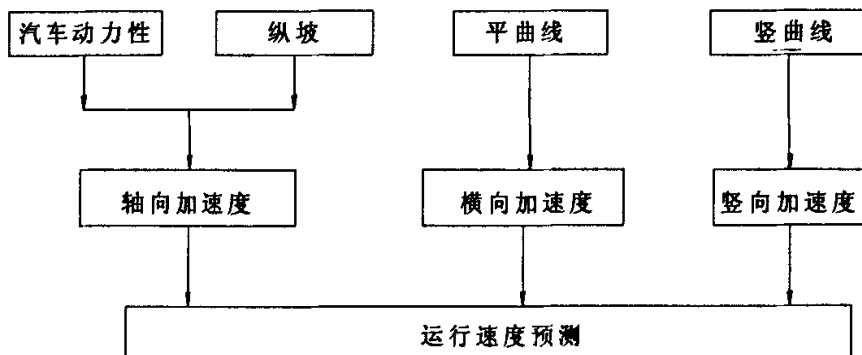


图 3.1 加速度模型

Chart 3.1 Acceleration Model

根据汽车的动力性能和道路的纵坡度,决定了各种行驶速度下的轴向加速度 a_x 值,该行驶速度 V_x 是汽车本身的动力性能决定的,属汽车行驶速度主导的、内在的决定因素。

在一定的横向加速度 a_y 下,不同半径的平曲线所允许行驶速度 V_y ,以及在一定的竖向加速度 a_z 下不同半径竖曲线所允许的行驶速度 V_z ,是受平曲线或竖曲线半径大小所限制的,属汽车行驶速度被动的、外在的限制性因素,为安全性允许的最大速度。

事实上,横向、轴向、竖向加速度三者在一时刻是单独存在的,并非共同作用。当平、竖曲线半径较大而不限制汽车行驶速度时,横向和竖向加速度不起作用,此时只有轴向加速度起控制作用。当平曲线或竖曲线半径较小且限制汽车行驶速度时,横向或竖向加速度起控制作用,此时轴向加速度不起作用。而横向和竖向加速度也是分别起控制作用的,竖向允许速度高于横向允许速度时,受横向加速度控制,反之受竖向加速度控制。

因此,在加速度模型中,横向、轴向、竖向加速度进行了分别建模,根据三者所起的作用进行运行速度的预测。

3.5 加速度指标模型

与加速度模型相对应,加速度指标分别为横向加速度指标、轴向加速度指标以及竖向加速度指标三部分。

3.5.1: 横向加速度指标

参考文献⑥中,在不设置超高的双向横坡曲线上进行行驶实验,为消除横坡影响,保持汽车在道路中央行驶,即横向加速度全部由乘客的感觉所承担(如果是在具有超高的道路上进行试验时,超高能抵消一部分,在相同行驶速度下乘客感受到的离心加速度值会小一些)。试验结果为:

当 $a_h \leq 1.8 \text{ m/s}^2$ 时,一般值,不显著;

当 $a_h = 3.6 \text{ m/s}^2$ 时,能感觉,可忍受;

当 $a_h \geq 5.0 \text{ m/s}^2$ 时,不能忍受。

另外,在参考文献⑦中,当超高横坡度 i_h 为零时, $\mu_s = \frac{V^2}{13R}$ 即为横向

加速度。文中用横向力系数 μ 来描述乘客在曲线上的感受,也可以换算成用横向加速度 a_h 来描述,取 $g \approx 10 \text{ m/s}^2$,则试验结果可表示如下:

当 $\mu < 0.10$, 即 $a_h = \mu g < 1.0 \text{ m/s}^2$ 时,不感到有曲线存在,很平稳;

当 $\mu = 0.15$, 即 $a_h = \mu g = 1.5 \text{ m/s}^2$ 时,稍感到有曲线存在,尚平稳;

当 $\mu = 0.2$, 即 $a_h = \mu g = 2.0 \text{ m/s}^2$ 时,已感到有曲线存在,稍感不稳定;

当 $\mu = 0.35$, 即 $a_h = \mu g = 3.5 \text{ m/s}^2$ 时,感到有曲线存在,不稳定;

当 $\mu \geq 0.40$, 即 $a_h = \mu g \geq 4.0 \text{ m/s}^2$ 时,非常不稳定,有倾车的危险感。

从舒适性考虑,美国 AASHTO 提出 $a_h = 0.3 \sim 1.0 \text{ m/s}^2$, 日本规定 $a_h \leq 0.4 \sim 0.7 \text{ m/s}^2$, 前苏联规定 $a_h \leq 0.5 \sim 1.0 \text{ m/s}^2$ 。

根据本文运行速度预测的含义,目的是得到汽车在某一平曲线上安全行驶的最大速度,在同样的安全条件下,即某一设计速度公路的所有平曲线都采用与极限最小半径对应的横向加速度数值,则平曲线半径 R_p 越大,安全所允许的行驶速度就越高,但是最大速度受该车的最高车速的限制,平曲线半径大到一定数值后,汽车可能以最高车速行驶,因此本文才用各设计速度所对应的最大横向加速度作为指标值。

3.5.2 轴向加速度指标

汽车的轴向加速度为:

$$a_x = \frac{\lambda g}{\delta} (D - \psi)$$

而 $D = PV^2 + QV + W$

$$a_{z(\max)} = \frac{a_{z2} - a_{z1}}{i_{\max}} i + a_{z1}$$

式中: $a_{z(\max)}$ ——轴向加速度指标(m/s^2);

i_{\max} ——各排挡最大爬坡坡度(%);

i ——路线纵坡度(%).

3.5.3: 竖向加速度指标

参考文献⑨中,提出竖向加速度 $a_v \leq 0.3 m/s^2$.

参考文献⑦中,提出竖向加速度 $a_v \leq 0.278 m/s^2$.

参考文献⑩中,根据人体感受程度对竖向加速度允许的界限值进行了规定,结果为:

当 $a_v < 0.315 m/s^2$ 时,保持舒适;

当 $a_v = 0.315 \sim 0.63 m/s^2$ 时,稍有不舒适;

当 $a_v = 0.63 \sim 1.25 m/s^2$ 时,相当不舒适;

当 $a_v > 1.25 m/s^2$ 时,非常不舒适。

从保持驾驶员操作工效出发, a_v 应小于 $1.25 m/s^2$ 。

3.6 运行速度预测模型

在初步确定路线平面和纵断面线形的基础上,根据前面的加速度模型和加速度指标模型,就可以分别计算得到横向允许速度 V_h 、轴向行驶速度 V_z 以及竖向允许速度 V_s ,最后三者中取最小值作为预测的运行速度,运行速度预测模型如下图 3.2:

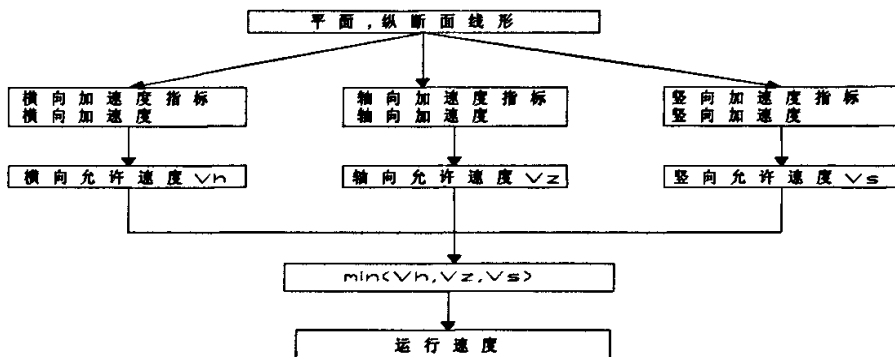


图 3.2 运行速度预测模型

Chart 3.2 speed prediction model

3.7 运行速度预测模型的检验

本文参考某省山区二级公路的一段实验路段数据进行模型的验证。路段的技术指标如下:

1:公路等级	二级公路
2:地形类别	山岭重丘区
3:设计速度	40km/h
4:路基宽度	9.0m
5:路面宽度	8.0m
6:平曲线一般最小半径	100m
7:最大纵坡	5%
8:最小竖曲线半径	凸型 3000m 凹型 4433.89m

其相关线形参数特征简述如下:

平面线形一览表:

表 3.1

Horizontal Alignment List Table 3.1

平面线形	桩号区间	平面线形	桩号区间
直线长 100.02m	K0+00~k0+100.02	中间直线长度 672.34	4+107.45~4+779.79
JD1R=126.10m LS=50m	0+100.02~0+249.83	JD10R=360m LS=60m	4+779.79~5+060.49
JD2R=167.96m LS=50m	0+249.83~0+489.93	中间直线长度 217.30	5+060.49~5+277.79
JD3R=244.42m LS=50m	0+489.93~0+671.95	JD11R=124.40m LS=50m	5+277.79~5+426.07
JD4R=162.40m LS=50m	0+671.95~0+874.04	JD12R=328.23m LS=75m	5+426.07~5+767.27
JD5R=289.43m LS=50m	0+874.04~1+122.12	JD13R=224.35m LS=60m	5+767.27~6+075.11
JD6R=3056.42m LS=0m	1+122.12~1+489.00	JD14R=1815.56m LS=0m	6+075.11~6+368.83
中间直线长度 306.46	1+489.00~1+795.46	JD15R=330.34m LS=60m	6+368.83~6+589.97
JD7R=1260.00m LS=0m	1+795.46~2+074.92	JD16R=605.17m LS=0m	6+589.97~6+958.59
中间直线长度 401.54	2+074.92~2+476.46	JD17R=104.61m LS=40m	6+958.59~7+088.56
JD8R=800.00m LS=0m	2+476.46~2+782.52	JD18R=175.66m LS=50m	7+088.56~7+296.33
中间直线长度 957.79	2+782.52~3+740.31	JD19R=220.44m LS=80m	7+296.33~7+433.64
JD9R=600.00m LS=0m	3+740.31~4+107.45	终点在 JD19 的圆曲线上	终点里程 7433.64m

全路段纵断面共有 15 变坡点,各变坡点的高程和竖曲线半径如下:

纵断面线形一览表

表 3.2

Profile Alignment list Table 3.2

变坡点	变坡点高程	竖曲线半径	变坡点	变坡点高程	竖曲线半径
起点 k0+00	763.87		K4+913.64	654.48	12000

K0+433.64	753.46	10000	K5+183.64	661.23	9185
K0+933.64	729.76	8000	K5+583.64	658.95	7000
K1+593.64	727.45	4000	K5+883.64	664.95	8000
K2+273.64	693.45	15200	K6+483.64	660.15	5000
K2+503.64	586.55	8000	K6+833.64	672.4	12000
K2+953.64	664.28	10000	K7+193.64	677.98	3000
K3+933.64	651.05	30000	K7+433.64	660.12	
K4+693.64	652.01	26000			

预测时主要参数设定:

1:汽车类型为解放 CA141,在进入该路段时的速度为 40km/h,档位处于 4 档,满载。

2:路面类型是良好的沥青路面和水泥混凝土路面,路面滚动阻力系数 $f = 0.015$ 。

3:海拔高度在 800m 以下,参照我国标准 3000m 以上考虑海拔影响的规定,才用 $\lambda = 1$ 。

在同一纵坡加(减)速度为定值,轴向行驶速度均匀变化;在竖曲线上轴向行驶速度和竖向允许速度都是边值;在平曲线的圆曲线内横向允许速度为定值,但在缓和曲线内为变值。

根据运行速度预测模型上述的特点,当横向允许速度高于轴向行驶速度时,按轴向行驶速度计算要求,计算点应为:路线的起、终点,换档点,竖曲线起点,变坡点对应点,终点以及两侧各至少一个加密点;当横向允许速度小于轴向行驶速度时,除上述计算点外,还应有平曲线圆缓点、缓圆点以及轴向行驶速度和横向允许速度相交点等。

结果分析如下:

平面预测值,其速度分布具有如下特征:

汽车在刚刚驶入平曲线时,速度下降,随着缓和曲线的逐渐结束,其下降幅度逐渐变小,近似为线形变化,进入圆曲线后,速度维持在下降后的水平,当再次进入缓和曲线时,速度开始回升,并且幅度逐渐增大,仍近似为线形变化,进入直线后,速度保持回升后的水平不变。总体来说是符合以往调查的结果(美国安全设计模型)。

纵断面预测值,起速度分布有如下特征:

速度的总体分布趋势是根据纵坡带来的阻力变化而呈现相似的变化,整体速度分布变化连续平顺,符合车辆运行的特点。在下坡路段,由于坡度阻力的减小,速度逐渐增大,但幅度逐渐变小,分析其主要原因,应该主要是风阻力的影响,加速的末段汽车进入该型汽车高档的高速运行;在上坡路段减速,速度呈现下降趋势,随着接近坡顶,减速幅度也逐渐边小,就其原因,应该是换档的原故(进入低档行驶)

比较二者,根据平面线形特征预测的速度大小基本在 60km/h 上下波动,比 40km/h 的计算行车速度显然大很多。分析原因可能是该路段的线形曲率变化幅度不是特别大,长直线和大半径曲线均给加速创造了良好的条件(这也是本文所关心的一个结论);纵断面预测值出现了几个比较大的波动,结合纵断面线形可以发现,整个路段以下坡为主,从而使得加速较快且容易进入高档,但在上坡路段速度又降得较快,出现波动比较大。根据取小值的约定,合成起来考虑,发现速度主要是由平面线形决定,只有在某些上坡坡度较大,且有间隔连续上坡特征的路段,速度才由纵断面控制。

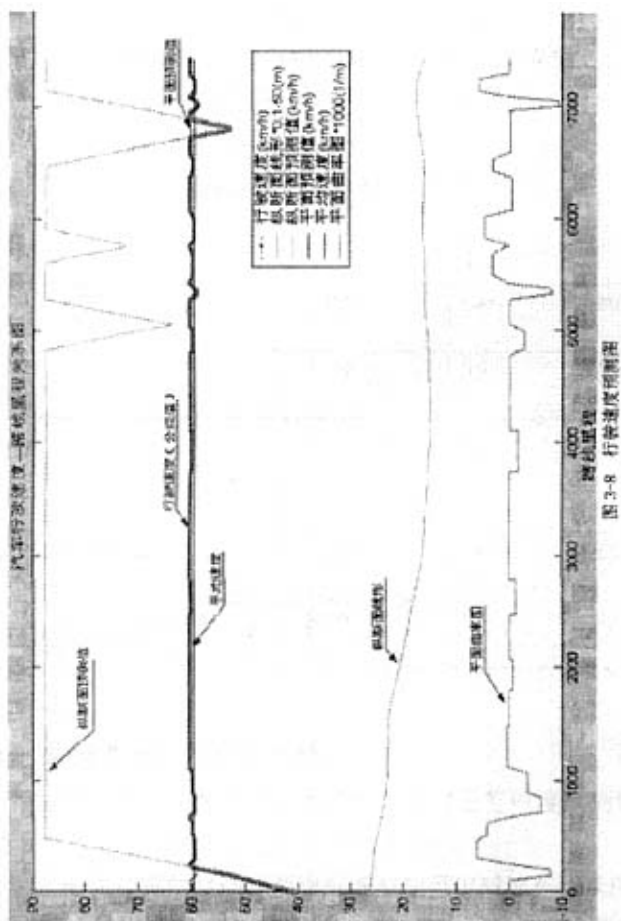


图 3.3 运行速度预测模型检验图

Chart 3.3 Velocity for model testing plan

第四章 减速车道长度的计算及应用

4.1 影响减速车道长度的因素

通过第二章车辆在匝道上的行驶特性分析以及第三章运行速度预测模型的建立,本节将运用上面的结论进行减速车道长度的计算分析。

减速车道长度计算公式为:

$$L = L_1 + L_2 = \frac{V_0 t}{3.6} - \frac{a_1 t}{2} + \frac{V_1^2 - V_2^2}{26a_2} \quad (4-1)$$

式中: t ——发动机制动持续时间(s),一般取 $t = 3s$;

V_0 ——分流初始速度(km/h),也即第一节讨论的车辆运行速度;

a_1 ——发动机减速度(m/s^2);

a_2 ——制动器制动减速度(m/s^2);

V_1 ——发动机减速后的车速(km/h), $V_1 = V_0 - a_1 t$;

V_2 ——车辆匝道的运行速度(km/h)

a_1 值表 表 4.1

主线设计速度(km/h)	120	100	80	60
a_1 平均减速度(m/s^2)	1.0	0.9	0.8	0.6

a_2 值表 表 4.2

主线设计速度(km/h)	120	100	80	60
a_2 平均减速度(m/s^2)	2.0	1.8	1.6	1.2

4.2 减速车道长度的计算

根据道路的初步线形技术指标代入上述运行速度预测模型及减速车道长度计算公式就可以计算出减速车道的设计长度。

为了简化计算的复杂性及更好的与规范中减速车道长度值进行比较,本问在暂不考虑主线纵坡的影响下,运用上述模型及计算公式计算得出以下减速车道长度计算表格:

980	200	155												
970	205	160												
960	210	165												
950	215	170												
940	215	170												
930	220	175												
920	225	180												
910	230	185												
900	235	190	140											
890	230	190	145	140										
880	240	195	150	145	140									
870	245	200	155	150	145	140								
860	250	205	160	155	150	145	140							
850	255	210	165	160	155	150	145	140						
840	260	215	165	165	160	150	150	145	140					
830	260	215	170	165	160	155	155	150	145	140				
820	265	220	175	170	165	160	155	150	150	145	140			
810	270	225	180	175	170	165	160	155	150	150	140	140		
800	275	230	185	180	175	170	165	160	155	150	145	140	140	
790	280	235	190	185	180	175	170	165	160	155	150	145	140	140
780	285	235	190	190	180	180	175	170	165	160	155	150	145	140
770	290	240	195	190	185	180	180	170	170	165	160	155	150	145
760	290	245	200	195	190	185	180	175	170	170	165	160	155	150
750	295	250	205	200	195	190	185	180	175	175	165	165	160	155
740	300	255	210	205	200	195	190	185	180	175	170	165	160	160
730	305	260	215	210	205	200	195	190	185	180	175	170	165	165
720	310	260	215	210	205	205	200	195	190	185	180	175	170	165
710	310	265	220	215	210	205	200	200	190	190	185	180	175	170
700	315	270	225	220	215	210	205	200	200	195	190	185	180	175
690	320	275	230	225	220	215	210	205	200	200	190	190	185	180
680	325	280	235	225	225	220	215	210	205	200	195	195	190	180
670	330	285	235	230	230	220	215	215	210	205	200	195	190	185
660	330	285	240	235	230	225	220	215	215	210	205	200	195	190
650	335	290	245	240	235	230	225	220	215	215	210	205	200	195
640	340	295	250	245	240	235	230	225	220	215	215	210	205	200
630	345	300	255	250	245	240	235	230	225	220	215	215	205	205
620	350	305	260	250	250	245	240	235	230	225	220	215	210	205
610	355	310	260	255	250	245	240	240	235	230	225	220	215	210
600	360	315	265	260	255	250	245	240	235	230	230	225	220	215
590		320	270	265	260	255	250	245	240	235	230	225	225	220
580		320	275	270	265	260	255	250	245	240	235	230	225	225
570		325	280	275	270	265	260	255	250	245	240	235	230	225

560		330	280	275	275	270	265	260	255	250	245	240	235	230
550		335	285	280	275	270	265	265	260	255	250	245	240	235
540			290	285	280	275	270	270	260	255	255	250	245	240
530			295	290	285	280	275	270	265	260	255	250	250	245
520			300	295	290	285	280	285	270	265	260	255	250	250
510			305	300	295	290	285	280	275	275	265	260	255	250
500			310	300	300	295	290	285	280	275	270	265	260	255
490				305	300	295	290	290	285	280	275	270	265	260
480					305	300	300	290	285	285	280	275	270	265
470						305	300	295	290	285	280	275	275	270
460							305	300	295	290	285	280	275	270
450								305	300	295	290	285	280	275
440									305	300	295	290	285	280
430										305	300	290	290	285
420											305	300	295	290
410												305	300	295
400													305	300

R _{主線} \ R _{匝道}	880	870	860	850	840	830	820	810	800	790	780	770	760	750
780	135													
770	140	135												
760	145	140	135											
750	150	145	140	135										
740	155	150	145	140	135									
730	160	155	150	145	140	135								
720	160	155	155	150	140	135	135							
710	165	160	155	150	145	140	135	135						
700	170	165	160	155	150	145	140	135	130					
690	175	170	165	160	155	150	145	140	135	130				
680	180	175	170	165	160	155	150	145	140	135	130			
670	185	180	175	170	165	160	155	150	145	140	135	130		
660	185	180	180	170	165	165	160	155	150	145	140	135	130	
650	190	185	180	175	170	170	160	160	155	150	145	140	135	130
640	195	190	185	180	175	170	165	160	155	150	150	145	140	135
630	200	195	190	185	180	175	170	165	160	155	150	145	140	140
620	205	200	195	190	185	180	175	170	165	160	155	150	145	140
610	205	200	200	195	190	185	180	175	170	165	160	155	150	145
600	210	205	200	195	190	185	185	180	175	170	165	160	155	150
590	215	210	205	200	195	190	185	185	180	175	170	165	160	155
580	215	215	210	205	200	195	190	185	180	175	175	170	165	160

570	220	215	215	205	205	200	195	190	185	180	175	170	165	165
560	225	220	215	210	210	205	200	195	190	185	180	175	170	165
550	230	225	220	215	210	205	205	200	195	190	185	180	175	170
540	235	230	225	220	215	210	205	205	200	195	190	185	180	175
530	240	235	230	225	220	215	210	205	200	200	195	190	185	180
520	245	240	235	230	225	220	215	210	205	200	195	190	190	185
510	245	240	235	230	230	225	220	215	210	205	200	195	190	190
500	250	245	240	235	230	225	225	220	215	210	205	200	195	190
490	255	250	245	240	235	230	225	220	220	215	210	205	200	195
480	260	255	250	245	240	235	230	225	220	215	210	210	205	200
470	265	260	255	250	245	240	235	230	226	220	215	210	210	200
460	270	265	260	255	250	245	240	235	230	225	220	215	210	205
450	270	270	260	260	255	250	245	240	235	230	225	220	215	210
440	275	270	265	260	255	250	250	245	240	235	230	225	220	215
430	280	275	270	265	260	255	255	245	245	240	235	230	225	220
420	285	280	275	270	265	260	255	250	245	240	235	235	230	225
410	290	285	280	275	270	265	260	255	250	245	240	235	230	230
400	295	290	285	280	275	270	265	260	255	250	245	240	235	230

坡道上变速车道长度的修正系数采用 06 规范的修正值表 4.5

坡道上变速车道长度的修正系数 表 4.5

Speed lane on the ramp length correction coefficient Table 4.5

主线平均坡度 (%)	$i \leq 2$	$2 < i \leq 3$	$3 < i \leq 4$	> 4
下坡减速车道修正系数	1.00	1.10	1.20	1.30
上坡加速车道修正系数	1.00	1.20	1.30	1.40

4.3 减速车道长度的应用及检验

以重庆市绕城公路处某一立交为实例,进行减速车道长度的设计。立交主线设计速度为 100km/h,立交区主线处于圆曲线内,曲线半径为 1000m。对 E 匝道进行减速车道长度的设计:

E 匝道为单车道,设计参数如下表: 表 4.6

E-ramp design parameters Table 4.6

圆(R)	缓(A)	圆(R)	缓(A)	缓(A)	圆(R)	缓(A)
744.75	197.85	200	90	90	200	105.53

根据规范的设计方法:由主线的设计速度为 100km/h,E 匝道为单车道,选取 E 匝道减速车道长度为:125m(变速长度)+90m(渐变长度)=215m。

根据本文的设计方法:主线的曲线半径为 1000m,E 匝道减速车道后的第一段

曲线为圆曲线,曲线半径为 744.75。查表,可得减速车道的设计长度为 210m。

该立交 E 匝道处由于地形比较开阔,E 匝道的设计指标比较高,减速车道后的圆曲线半径与主线圆曲线半径相差不是很大,因此两种方法计算出来的减速车道长度相差不大。但是,假如其他条件不变,E 匝道处于地形受限制很大的位置,设计指标不得不取用低指标时,如减速车道后第一段圆曲线半径为 500 时,规范设计方法选取的减速车道长度不变为:215m,本文设计方法变速车道长度改变为:310m。

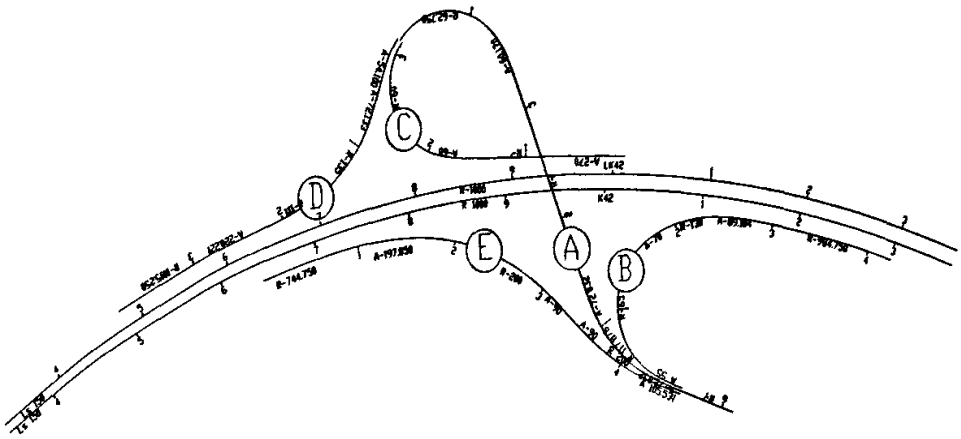


图 4.1 立交线位数据图

Chart4.1 The Line-bit data of the interchange

从上述实例可以看出本文的设计方法更具有灵活性,能更好地满足各种不同复杂地形条件下的立交减速车道长度设计。

第五章:加速车道长度计算模型的建立及应用

5.1 概述

车辆加速汇入不仅与加速车道的设计有关,也与高速公路流量和横断面布置有关,加速汇入的交通现象比减速状态要复杂,因此加速车道设计要考虑的因素也要复杂得多。

(1)加速车道的形式

加速车道一般有两种形式(图 5.1a、b)。当交通量小时,可采用直接式;当交通量大时应采用平行式。

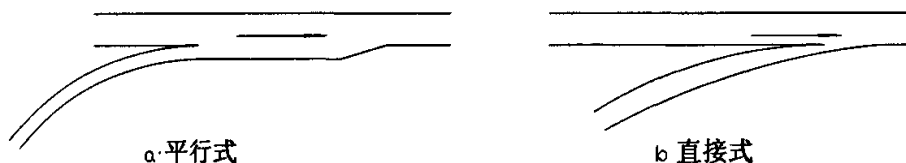


图4.1

(2)入口端部设计

在加速车道的合流端部半径可做得比减速车道端部半径小些。在使用缘石的地方,应做成 0.3~0.5 米半径的圆头;在不使用缘石的地方,相应的路面边缘可做成半径很小的圆头或方头。只要可能,入口车道的路面应主线高速公路车行道接近平行。

在图 5.1 中,当采用单车道、单向运行—不考虑超车,从匝道的宽度逐渐减窄路面,以便加速车道与主线高速公路横断面合并布置,此时路面减窄的最小长度(图 5.2)

$$L=0.3V(W_2-W_1) \quad (5-1)$$

式中:L—减窄路面需要的最小长度(m)

V—入口车行道上平均行驶速度(km/h)

W_2 —匝道总宽度(包括路肩宽度)(m)

W_1 —保证一条单车道入口的一个单车道宽度(3.0~3.75m)

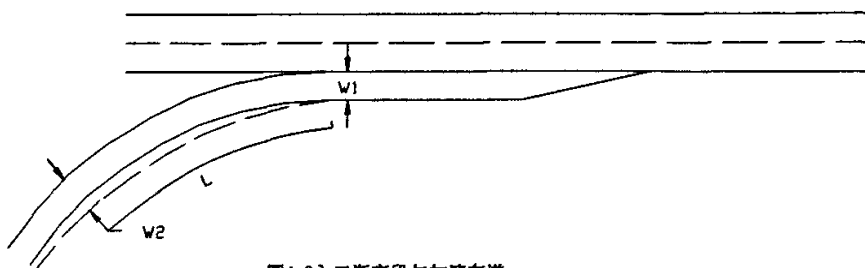


图4.2入口渐变段与加速车道

在加速车道鼻端的一定范围内还应保证高速公路与匝道的通视,对于直接式连接的加速车道入口应布置为大约 1:50 的平缓角度(图 5.3)。

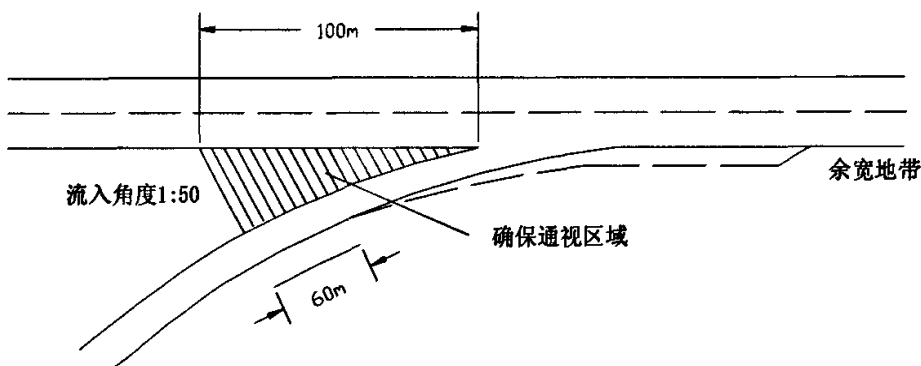


图4.3

(3)加速车道长度计算

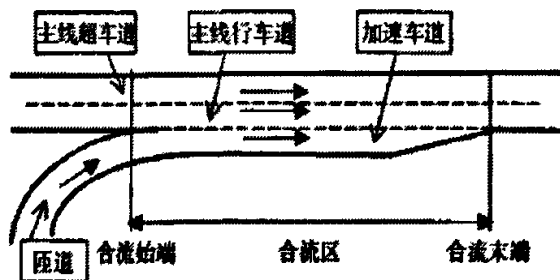
高速公路加速车道是互通立体交叉的重要组成部分,是车辆进入高速公路主线的必需通道,其作用是给进入高速公路的车辆提供一个安全而舒适的进入机会,实现主线车速与匝道车速之间的平稳过渡,维持立交的服务水平与主线一致。

我国高速公路从上世纪90年代开始大规模发展,但在加速车道的长度研究方面还不够充分。近年来,很多高校和科研机构陆续进行了一些这方面的研究,但一般集中在理论研究方面,缺少实测数据对各类模型的标定与验证,也没有精确的量化计算加速车道的设置长度,因此与实际应用仍有一段距离。

在现行的设计标准中,加速车道长度设计主要考虑主线及匝道的平均行驶速度^[11];或者考虑匝道车辆与主线合流速度及匝道的计算行车速度^[12],这两种方法有一定差异,但其共同点是以速度为加速车道长度设计的惟一依据。在我国高

速公路建设初期交通量很小的情况下,这两种方法得出的加速长度是可以满足行车要求的。但随着高速公路交通量的日益增大,单纯考虑车速而设计的加速车道长度已难以满足高速公路行车舒适、安全、快速的要求,为此,本文建立考虑服务交通量的加速车道长度计算模型进行加速车道长度的计算,从而对现行《公路路线设计规范》中的加减速车道长度设计部分做出修正参考。

高速公路的合流区包括匝道、加速车道、与之相联系的主线部分。图5.4为双向四车道高速公路合流区示意图。



双向四车道高速公路合流区示意图 图 5.4

District maps bidirectional four-lane expressway Chart 5.4

高速公路合流区通行能力不同于一般路段通行能力的特性。主线交通量和匝道交通量对于合流区的运行特征均有显著影响。在实际的车流运行状况中,加速车道不仅用来完成车速的变换,而且更是用来使车辆迅速、安全地汇入高速公路。匝道车辆在加到一定的车速后,决定它能否及时汇入高速公路的因素,不是车速,而是高速公路最外侧车道是否有足够的间隙,使它能够顺利汇入。而决定高速公路外侧车道是否有足够插入间隙的最直接因素就是主线行车道交通量的大小。如果高速公路的交通量很大,外侧车道没有间隙,则车辆只有一边行驶,一边继续寻找插入机会。所以,在计算加速车道长度时不仅要考虑设计速度,还要考虑服务交通量的大小。不同的服务交通量需要的加速车道长度是不同的。

在设置加速车道长度时,我们首先可以知道高速公路主线及匝道的的设计速度,由此相应的基本通行能力也可以确定,然后按照主线基本路段及立交合流区要求的服务水平,根据道路情况和交通情况得出合适的服务交通量。最后根据主线和匝道的速度、服务交通量得出合适的加速车道长度。

5.2 服务交通量的确定

5.2.1 基本通行能力的确定

公路通行能力是指公路能够疏导交通流的能力。通过对通行能力的分析,可以对交通流运行参数和服务水平指标进行估算和评价,针对高速公路中存在的问

题提出改进方案或措施。表5.1、5.2是高速公路基本路段的基本通行能力指标^[13]。

(94规范)高速公路基本路段基本通行能力指标 表5.1

(94 standard) basic sections of highway capacity of the basic indicators

Table 5.1

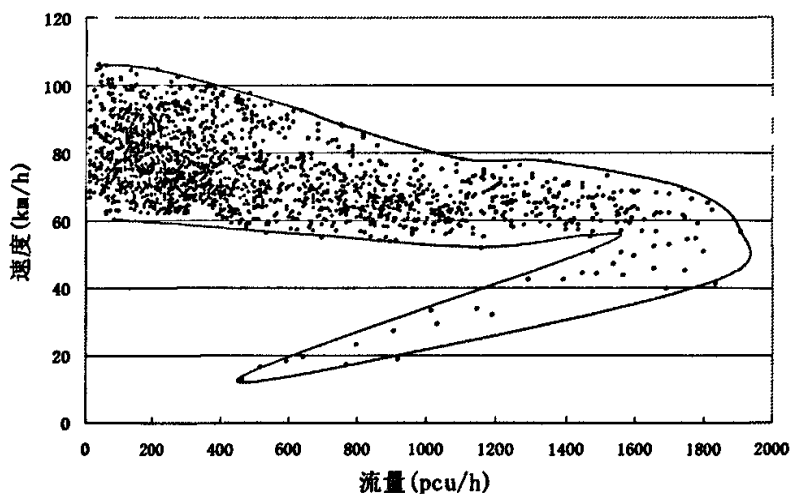
设计速度 km/h	通行能力 pcu/h/ln	临界密度 pcu/km	临界速度 km/h
120	2200	37	60
100	2200	44	50
80	2000	50	40
60	1800	45	40

(06规范)高速公路基本路段基本通行能力指标 表5.2

(06 standard) basic sections of highway capacity of the basic indicators

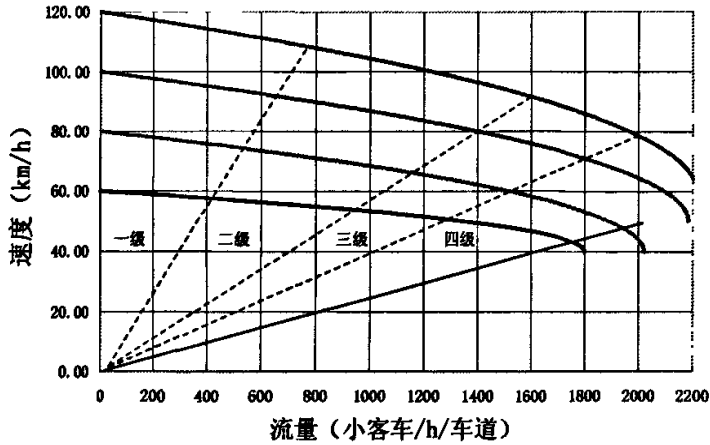
Table 5.2

设计速度 km/h	通行能力 pcu/h/ln	临界密度 pcu/km	临界速度 km/h
120	2200	45	48
100	2100	45	47
80	2000	45	45



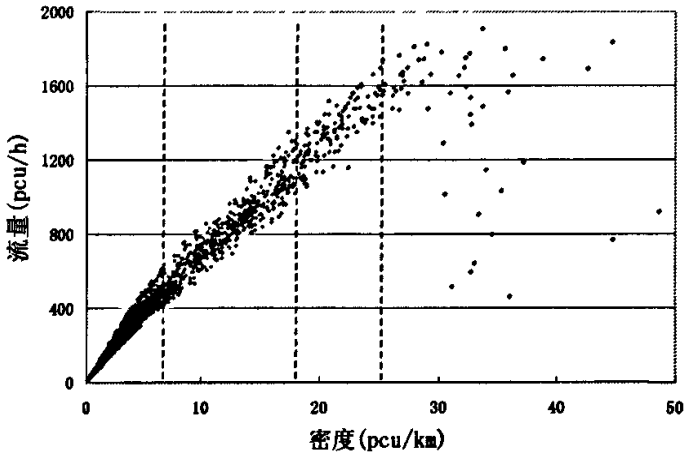
高速公路的速度—流量散点图 图5.5

Highway speed-flow plot Chart 5.5



高速公路基本路段速度与流量关系曲线(06) 图5.6

Freeway sections of the basic rate and the flow curve (06) Chart 5.6



高速公路的密度—流量散点图 图5.7

The highway density-flow plot Chart 5.7

5.2.2 服务水平及主线相应服务交通量的确定

由交通部公路科学研究所编制的最新《公路通行能力研究报告》中把公路的服务水平分为四级^[13], 在研究高速公路的加速车道设计长度时, 主要考虑二级、三级服务水平, 即主线和匝道保证二级服务水平, 合流区达到三级服务水平。主线和匝道的服务水平及相应服务交通量如表5.3、5.4。

(94 规范)三个等级服务水平下, 高速公路主线最大服务交通量 表 5.3

(94 standard) three grades level of service, the largest expressway traffic services Table 5.3

设计速度 (km/h)	V/C			最大服务交通量(pcu/h)		
	一级	二级	三级	一级	二级	三级
120	0.34	0.74	0.90	750	1600	2000
100	0.30	0.64	0.82	650	1400	1800
80	0.25	0.58	0.75	500	1150	1500
60	0.22	0.50	0.67	400	500	1200

(06 规范)三个等级服务水平下,高速公路主线最大服务交通量 表 5.4

(06 standard) three grades level of service, the largest expressway traffic services Table 5.4

设计速度 (km/h)	V/C			最大服务交通量(pcu/h)		
	一级	二级	三级	一级	二级	三级
120	0.34	0.74	0.88	750	1600	1950
100	0.31	0.67	0.86	650	1400	1800
80	0.25	0.60	0.75	500	1200	1500

一级服务水平的最大服务交通量即为二级服务水平的低限,二级服务水平的最大服务交通量即为三级服务水平的低限。由此主线设计速度120km/h,二级服务水平所对应的服务交通量为750~1600pcu/h/lane,三级服务水平对应的服务交通量则为1600~2000pcu/h/lane(94)、1600~1950pcu/h/lane(06)。此时的交通量是标准小客车交通量。

5.2.3 匝道服务交通量的确定

在前面所述的基本通行能力、实际通行能力和服务水平确定之后,我们就可以基本确定计算加速车道长度所需的服务交通量。为保证主线路段二级服务水平,合流区三级服务水平,则不但要求主线上游和匝道交通量分别达到二级服务水平,还要求二者之和在三级服务水平以上。不同设计速度的高速公路匝道基本通行能力如表5.5、5.6。

(94)匝道基本通行能力 表5.5

(94) ramp basic capacity Table 5.5

设计速度(km/h)	20	30	40	45	60~80
基本通行能力(pcu/h/ln)	1041	1166	1194	1188	1190

(06)匝道基本通行能力 表5.6

(06) ramp basic capacity Table 5.6

设计速度(km/h)	≤30	40	60	80
基本通行能力(pcu/h/ln)	1400	1600	1800	2000

由表5.5可以看出,设计速度在40km/h以下时,匝道基本通行能力随速度提高而增大;而在45km/h时,匝道基本通行能力稍有减少,为1188pcu/h/lane。这是因为基本通行能力是由最小车头时距算得的,当设计速度在45km/h以上时,最小车头时距基本稳定在3s左右,所以当匝道设计速度为60~80km/h时,匝道基

本通行能力取1190pcu/h/lane。

由表5.6可以看出,06规范在94规范的基础上,相同匝道设计速度下的基本通行能力有较大的增加,这是我国道路建设水平及汽车技术不断发展的结果。此时当匝道设计速度为60~80km/h时,匝道基本通行能力取1900pcu/h/lane。

根据匝道车流量的饱和度指标确定的匝道服务水平等级可知,二级服务水平下,匝道的饱和度取值范围是0.20~0.50,匝道的服务交通量为基本通行能力与饱和度的乘积,即208~595pcu/h/ln(94)、380~950pcu/h/ln(06)。

在实际的交通运行中,匝道交通量和主线行车道交通量有着密切关系的,匝道服务交通量可由主线行车道的交通量推算。

高速公路合流区匝道的车辆运行特征有着类似与无控交叉口中次要道路车辆运行的特点。其共同点表现为:(1)主线车辆享有优先通行权,不受次要道路(匝道)车辆影响;(2)次要道路(匝道)车辆需等待主线车流中存在可插入间隙(可汇入间隙),方能驶入。不同点表现为:(1)无控交叉口中次要道路车辆一般需停车等待,合流区的匝道车辆一般在加速车道上以一定的速度边行驶边等待;(2)无控交叉口中次要道路车辆一般要穿越两个不同方向的车流,匝道车辆在汇入主线时只需横移一个车道的距离。(3)无控交叉口中次要道路车辆穿越主线时,与主线车辆呈垂直方向,存在冲突点;匝道车辆在汇入主线时,与主线行车道车辆夹角很小,存在合流点而无冲突点。匝道交通量的计算可借鉴无控交叉口中次要道路交通量的计算方法,但具体参数有着不同的意义。下面是匝道交通量在主线行车道车辆车头时距符合r阶Erlang分布时的计算公式

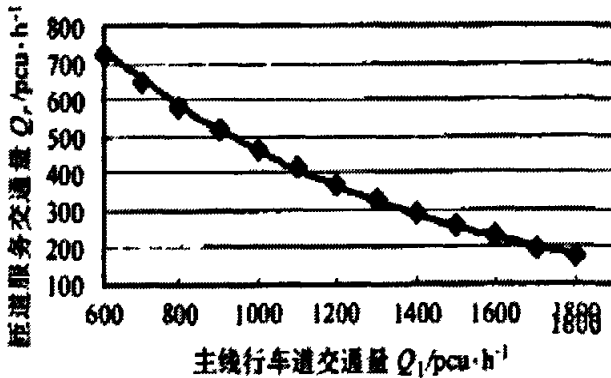
$$Q_r = Q_1 \sum_{i=0}^{r-1} \frac{(-1)^i}{i!} \left| \frac{\exp(-Q_1 r t_0 x / 3600)}{1 - \exp(-Q_1 r t x / 3600)} \right|_{x=1} \quad (5-1)$$

式中, Q_r 为匝道交通量; Q_1 为主线行车道交通量; t_0 为可汇入间隙,即一辆匝道车辆汇入主线行车道的最小车头时距,对于标准小客车 $t_0=4s$; t 为排队驶入的匝道车辆连续通过合流点时的最小车头时距,即匝道车辆的临界间隙,对于标准小客车 $t=3.5s^{[6]}$ 。

当 $r=1$ 时公式简化为主线车辆车头时距符合负指数时的匝道交通量计算公式。

根据式(5-1)可得出匝道服务交通量在主线行车道不同交通量下的大小,如图5.8所示。其中Erlang分布阶数 r 取2, $t_0=4s$,

$$t=3.5s. \quad Q_r = Q_1 \sum_{i=0}^1 \frac{(-1)^i}{i!} \left| \frac{\exp(-Q_1 / 400)}{1 - \exp(-7Q_1 / 3600)} \right|$$



匝道服务交通量在主线行车道不同交通负荷下的大小 图5.8

Ramp service traffic in the main line of traffic lane different sizes
Chart5.8

5.3 匝道车辆汇入主线行车道的基本理论和概率分布

5.3.1 匝道车辆在加速车道上的最小行驶距离模型

在不考虑交通量影响时,匝道车辆在加速车道上的行驶距离可以由式(5-2)计算

$$S_0 = \frac{V^2 - u^2}{26a} \quad (5-2)$$

式中, S_0 为行驶距离, m; a 为加速度, $a=0.8\sim 1.2\text{m/s}^2$; V 为匝道车辆成功汇入主线的合流车速, km/h; v 为匝道车辆达到合流区鼻端位置的速度, km/h。

此段距离是匝道车辆在加速车道上必须实现加速过程的最小运行距离。计算加速车道长度时,合流区鼻端位置速度 v 可取匝道设计行车速度。合流车速 V 指的是加速车道上车辆汇入高速公路主线行车道时,汇入车辆保持的一般车速。由于驾驶员的差别、车辆动力性能的差异,汇入车辆采用的合流速度也不相同。根据调查,汇入车辆的合流速度小于高速公路主线行车速度,两者速度差过大不利于匝道车辆安全汇入主线行车道。欧共体和丹麦对西班牙、荷兰、德国和丹麦4个国家的高速公路入口进行实测观察得到的速度差为 $15\text{km/h}^{[17]}$ 。基于设计的安全性和经济型考虑,合流车速 V 的计算如下式

$$V = V_1 - 10 \quad (5-3)$$

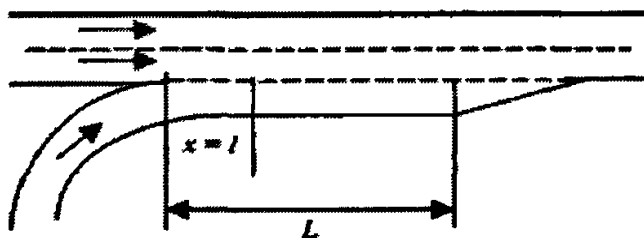
式中, V_1 为高速公路主线设计速度, km/h。

5.3.2 匝道车辆汇入主线行车道的概率

合流区路段是入口匝道车辆和主线行车道车辆交错汇集、争夺主线行车道通行权的地方。在匝道车辆不能直接汇入主线行车道时,匝道车辆上的司机必须在

加速车道上边行驶边观察合流区主线行车道车流中车辆间的间隙(gap)。当主线行车道提供的间隙大于可插入的临界间隙(t_0)时,才能汇入;当合流区主线行车道提供的间隙大于匝道车辆的临界间隙(t)和其后面车辆的随车时距(t_f)之和时,匝道第二辆车辆可以跟随前面车辆结队汇入同一主线行车道间隙。这就是匝道车辆利用可接受间隙汇入主线行车道交通流的基本理论。由此,匝道车流能否顺利汇入主要取决于主线行车道车流车头时距服从的分布规律、匝道车辆临界间隙、随车时距大小及其分布。

一车道匝道主线单向两车道合流区见图5.9所示。其加速车道长为 L ,在匝道入口处令 $x=0$ (即当主线行车道交通量很小时,匝道车辆可直接汇入主线的地方),加速车道末端为 $x=L$,在加速车道的其它位置 $0 \leq x \leq L$,匝道车辆于 x 处可以汇入主线行车道的临界间隙为 $t(x)$,随车时距为 $t_f(x)$ 。



合流区加速车道合流点位置示意图 图5.9

Accelerated confluence of merging location maps Chart 5.9

则当主线行车道车辆的车头时距符合二阶Erlang分布时,主线行车道车流在 x 处可以使匝道车辆连续汇入 n 辆的概率为:

$$P[h > t(x) + (n-1)t_f(x)] = e^{-\frac{Q_1}{1800}[t(x) + (n-1)t_f(x)]} \left\{ 1 + \frac{Q_1}{1800}[t(x) + (n-1)t_f(x)] \right\} \quad (5-4)$$

5.3.3 匝道车辆在加速车道上不同位置的汇入概率模型

式(5-2)给出了主线交通量很小,并且不影响匝道车辆汇入情况下的加速车道所需最小长度。现在研究在给定主线行车道交通量较大,匝道车辆到达合流端时主线暂无可汇入间隙,车辆在加速车道上一边加速一边等候主线车流出现可汇入间隙时的情况,并建立这种情况下匝道车辆在加速车道不同位置汇入主线的概率模型。

主线行车道在合流区 $x=L$ 处出现可汇入间隙的概率是随机的,合流区的大部分位置(50~200m内)符合2阶Erlang分布^[16]。匝道车辆在此处能否遇到主线行车道的可汇入间隙取决于其在此等候的时间。而时间是连续变化的,匝道车辆在

$x=L$ 处能否遇到主线行车道的可汇入间隙的概率分布函数为匝道车辆在此等候时间的几何分布。令匝道车辆在加速车道上从 $x=0$ 开始到 $x=L$ ($0 \leq l \leq L$)处止车辆合流成功的概率为 $P(l)$ 。下面求汇入概率 $P(l)$ 与匝道车辆行驶距离 l 的关系式。

设匝道车辆在 $x=l+dl$ (其中 $dl \rightarrow 0$)处成功汇入的概率为 $P(l+dl)$, 则

$$P(l+dl) = P(l) + [1 - P(l)] dt e^{-\frac{Q_1}{1800} t(l)} \left[1 + \frac{Q_1}{1800} t(l) \right] \quad (5-5)$$

其中, dt 为匝道车辆在 dl 的行驶时间, 由于 dl 非常短(趋向于0), 从而匝道车辆在 dl 内的可接受间隙为其在 l 处的可接受间隙 $t(l)$ 。在 dl 内保持其在位置 l 处的行驶速度 $u(l)$, 则

$$dt = \frac{dl}{u(l)} \quad (5-6)$$

在 dt 这段极小时间内, 可以认为匝道车辆在加速车道上 dl 内保持合流速度 V , 于是式(5-5)可以转化为

$$\frac{P(l+dl) - P(l)}{dl} = \frac{e^{-\frac{Q_1}{1800} t(l)} \left[1 + \frac{Q_1}{1800} t(l) \right] - e^{-\frac{Q_1}{1800} t(l)} \left[1 + \frac{Q_1}{1800} t(l) \right]}{V} + \frac{e^{-\frac{Q_1}{1800} t(l)} \left[1 + \frac{Q_1}{1800} t(l) \right]}{V} - P(l) \quad (5-7)$$

$$\text{令 } \frac{Q_r(l)}{3600} = \frac{1}{V} e^{-\frac{Q_1}{1800} t(l)} \left[1 + \frac{Q_1}{1800} t(l) \right] \quad (5-8)$$

通过对式(5-7)两边求 dl 的极限, 可以得到如下微分方程

$$P'(l) = -\frac{Q_r(l)}{3600} P(l) + \frac{Q_r(l)}{3600} \quad (5-9)$$

对于式(5-7), 如果 Q_1 , 和 $t(l)$ 均取合流区主线行车道交通量及匝道车辆临界间隙的均值, 并且令 $Q_r = Q_r(l)$, 则微分方程(5-9)有通解:

$$P(l) = C e^{-\frac{Q_r l}{3600}} + 1 \quad (5-10)$$

由方程(5-10)的连续性及其 $x=l$ 位置点的定义, 当 $x=l=0$ 时 $P(l)=0$, 对方程(5-10)两端取 $x=l=0$ 处的左极限, 可以得到 $C=-1$ 。于是有:

$$P(l) = 1 - e^{-\frac{Q_r l}{3600}} \quad (5-11)$$

由于主线车流可汇入间隙的分布是一个随机分布,在相同的主线、匝道交通负荷下,匝道车辆在加速车道的行驶距离不一定相同。若 $P = P(l)$ 表示经过调查得到的匝道车辆于 l 处汇入的概率,由式(5-11)可以得到匝道车辆在等待主线可汇入间隙的行驶距离为:

$$l = -\frac{3600}{Q_r} \ln(1 - p) \quad (5-12)$$

这样,匝道车辆在加速车道上所需的行驶距离为式(5-2)与式(5-12)之和。即加速车道长度由车辆本身加速行驶所需的最小长度和匝道车辆汇入主线行车道所需长度两部分组成:

$$S = \frac{V^2 - v^2}{26a} - \frac{3600}{Q_r} \ln(1 - p) \quad (5-13)$$

5.4 考虑服务交通量的加速车道长度计算

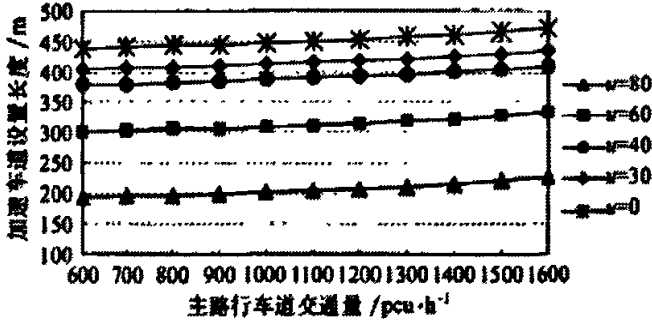
设主线车道平均车速为 U ,匝道车辆达到合流区鼻端相应位置的初速度为 u ,加速度 a , P 表示匝道车辆可直接汇入主线的概率, Q_r 为匝道的服务交通量,则考虑了主线服务交通量的加速车道长度可由式(5-13)、(5-1)、(5-3)联立求解。

$$S = \frac{V^2 - v^2}{26a} - \frac{3600}{Q_r} \ln(1 - p)$$

$$Q_r = Q_1 \sum_{i=0}^{r-1} \frac{(-1)^i}{i!} \left| \frac{\exp(-Q_1 r_0 x / 3600)}{1 - \exp(-Q_1 r_0 x / 3600)} \right|_{x=1}$$

$$V = V_1 - 10$$

当加速度 a 取1,汇入概率 P 取0.95,即95%的匝道车辆可以顺利汇入主线行车道,主线设计车速为120km/h,匝道设计车速分别为80、60、40、30km/h和0km/h时的行驶距离(所需的加速车道长度)与服务交通量的关系如图5.10。



加速车道上行驶距离与服务交通量的关系曲线 图5.10

Acceleration lane on the road curves away from the traffic and services Chart5.10

如前所述,对于主线设计速度为120km/h的高速公路,二级服务水平所对应的服务交通量为750~1600pcu/h/lane。在此考虑高速公路上车辆较多而满足二级服务水平状况下加速车道的设置长度,即主线行车道服务交通量在1200~1500pcu/h左右时加速车道应该达到的长度,则当匝道速度分别是80、60、40km/h和30km/h时对应的加速车道长度分别是220m、330m、400m、430m;匝道速度为0km/h时(即u=0),是指车辆从服务区或收费站直接进入高速公路主线行车道时的情况,此时要求的加速车道长度为465m。

同样,由式(5-13)、(5-1)、(5-3)联立可以依次算出主线设计车速为100km/h、80km/h和60km/h对应不同匝道设计车速时在不同主线服务交通量下的加速车道设置长度。最终推荐加速车道长度汇总如表5.7。

加速车道长度计算表 5.7
acceleration lane length Table 5.7

匝道设计速度 (km/h)	主线设计速度 (km/h)		
	120	100	80
	渐变段长度 (m)		
	95	80	70
80	220	65	
60	330	170	50
40	400	250	130
30	430	280	155
0	465	310	190

为了进行本文计算结果的比较,现列出我国94与06路线规范及美国规范对加速长度设计规定的长度表格5.8、5.9、5.10。

(94规范)加速车道长度的规定 表5.8

(94 standard) acceleration lane length of the Table 5.8

主线计算行车速度(km/h)		120	100	80	60	40
加速车道长度 (m)	单车道	200	180	160	120	50
	双车道	300	260	220	160	—
渐变段长度(m)	单车道	70	60	50	45	40

(06规范)加速车道长度的规定 表5.9

(06 standard) acceleration lane length of the Table 5.9

变速车道类别		主线设计速度(km/h)	变速车道长度(m)	渐变参数m	渐变段长度(m)	分、汇流鼻端半径(m)
加速车道	单车道*	120	230	--(45)	90(180)	0.6(0.55)
		100	200	--(40)	80(160)	0.6(0.75)
		80	180	--(40)	70(160)	0.6(0.75)
	双车道	120	400	45	180	0.63
		100	350	40	160	0.63
		80	310	37.5	150	0.67

注:*单车道入口一般为平行式的,若为直接式时,采用括号内的参数。

Note : * bicycle path parallel to the entrance of the general, and for direct, using the parameters in parentheses

(美国) 小于或等于2%缓坡的入口端部最小加速长度 表5.10

(United States) less than or equal to 2% of the smallest end of the entrance to speed up the slope length of Table 5.10

高速公路		L—加速长度(m)								
		入口曲线的设计速度(km/h)								
		停车条件	24	32	40	48	56	64	72	80
设计速度	达到速度	初速度(km/h)								
		0	22	29	35	39	48	58	64	70
45	37	60								
65	50	115	100	80	70	45				
80	62	230	210	200	180	150	120	50		
95	75	360	340	330	300	280	250	180	120	50
110	85	490	470	460	430	400	380	310	250	180

由上表可以看出我国现行规范中规定的加速车道长度偏短。通过比较发现,美国的规范值比较接近本文计算出的结果。

第六章 结论与建议

6.1 基本结论

- (1) 通过对国内外变速车道设计理论现状的分析,得出现行变速车道设计方法的不足,确定了本文研究的重点,即车辆运行速度及道路交通流量对变速车道设计长度的影响。
- (2) 通过汽车动力学分析,建立了车辆行驶的横向加速度、轴向加速度、竖向加速度及加速度模型,并通过文献资料的分析建立了加速度指标模型,最后建立了运行速度预测模型。
- (3) 运用运行速度预测模型计算得出了立交主线曲线半径、匝道曲线半径与减速车道长度的关系表格,并且通过示例分析证实了本文计算得出的结果更具有灵活性及适用性。
- (4) 运用交通流的可接受间隙理论及考虑服务交通量对加速车道长度的影响,建立了高速公路主线交通流量、匝道交通流量与加速车道长度的关系模型,并计算出加速车道长度设置表格。通过与我国 94 规范、06 规范及美国规范中对加速车道长度的规定,发现本文计算结果与美国规范中规定的加速车道长度比较接近,更适用于交通流量比较大的高速公路立交加速车道长度的设计。

6.2 存在的问题与不足

- (1) 由汽车动力学建立的车辆运行速度预测模型没有得到足够的实际车辆运行速度数据的验证,有待于进一步的论证、研究。
- (2) 运用运行速度预测模型计算减速车道长度时,为了简化计算,没有考虑道路纵坡(即竖曲线)的影响,有待于进一步的研究。
- (3) 本文在考虑服务交通量情况下计算出的加速车道设置长度未得到实际工程的验证,需要进一步的工程实践的检验。

6.3 进一步研究的设想

随着对课题的深入,笔者对该项研究的意义和重要价值也有了进一步的认识,我们坚信,该设计方法的应用前景是十分广阔的,只要进行更深入的、更具体的研究,使其逐步完善发展,定能使其在今后的高速公路立交建设中发挥出积极的作用,为设计出尽善尽美的立交工程做出应有的贡献。

限于时间关系,我们这一阶段的研究工作暂告一个段落,为下一步进行更深入的研究方便,现提出几条建议供参考。

- (1) 收集更多的车辆实际运行速度与道路平、纵、横指标的关系数据以

修正本文建立的运行速度预测模型,使本文的运行速度预测模型更接近于实际情况。

- (2) 影响变速减车道长度的因素很多,本文只是考虑了道路平、纵、横指标对减车道长度的影响。其他因素的影响有待于进一步的研究
- (3) 本文考虑服务交通量对加速车道长度影响而计算出的加速车道长度需要实际工程应用的进一步验证。

致 谢

本论文从选题到定稿,都是在导师孙家驹教授的悉心指导下完成的。论文期间,孙教授为作者提供了大量资料,并提出许多宝贵的意见和建议。在两年半的研究生学习期间,孙教授亦给予作者莫大的关心和帮助。他严谨求实的治学态度和孜孜不倦的教诲令作者终生难忘!

在此,谨向孙家驹教授表示衷心的感谢!

还要感谢重庆市交通规划勘察设计院的徐生明高工,给我在三年的研究生学习过程中提供了丰富的工程实践机会,使我的学业更加完善。

多年来,我的家人、朋友、同学,一直默默地、无私地关怀我、支持我的学业,使我能全身心地投入研究生的学习,借此机会,向他们表达我深深的谢意。

参考文献

1. 李嘉、方霞。高速公路出入口设计与安全性研究。中南公路工程 2003 年第 2 期。
2. 刘子剑。减速车道车流特征与设计对策。中南公路工程 1994 年第 2 期。
3. 杨少伟。道路立体交叉规划与设计。人民交通出版社 2000 年。
4. 郑柯、荣建、任福田。高速公路平曲线半径与车辆行驶速度之间的关系分析。公路交通科技 2003 年第 2 期。
5. 周荣贵、孙家凤、吴万阳、王书灵。高速公路纵坡坡度与运行速度的关系。公路交通科技 2003 年第 4 期。
6. 吴万阳。自由流车辆的行驶规律及道路横断面尺寸对其速度的影响。北京工业大学硕士学位论文 2002 年。
7. 张雨化。道路勘测设计。人民交通出版社 1997 年。
8. [德]汉斯·落伦茨著,尹家,赵恩棠等译。公路线形与环境设计。人民交通出版社 1985 年。
9. [美]美国各州公路与运输工作者协会。公路与城市道路几何设计。西安工业大学出版社 1988 年。
10. 余志生。汽车理论。机械工业出版社 1999 年。
11. 高速公路丛书编委会。高速公路立交工程。人民交通出版社 2001 年。
12. 吴国雄,李方。互通式立体交叉设计范例。人民交通出版社 2002 年。
13. 交通部公路科学研究所,交通部规划研究院,东南大学等。公路通行能力研究报告.2000 年。
14. 王伟、过秀成。交通工程学。东南大学出版社 2000 年。
15. 常玉林、王伟等。主车流服从 Erlang 分布下支路通行能力研究。东南大学学报 1998 第 3 期。
16. 李铁柱、李文权、周荣贵等。高速公路加减速车道合流分流特征分析。公路交通科技 2001 年第 4 期。
17. 赵春。高速公路合流区交通模拟与评价研究。东南大学硕士学位论文 2002 年。
18. 罗霞。高速公路立体交叉规划与设计。成都出版社 1992 年。
19. 刘旭吾。互通式立体交叉线形设计与施工。人民交通出版社 1997 年。
20. 冯桂炎主编。公路设计交通安全审查手册。人民交通出版社 2000 年。
21. 王伯惠。道路立交工程。人民交通出版社 2000 年。
22. 陈洪仁等编。道路交叉规划设计与施工。黑龙江科学技术出版社 1997 年。
23. 贺栓海等编。道路立交的规划与设计。人民交通出版社 1994 年。
24. 杨少伟、许金良、杨宏志。考虑平、纵、横三方面关系的横向加速度变化率。中国公路学

报 1999 年第 10 期。

25. 陈胜营、张剑飞、汪亚干。运行车速与道路设计。公路 1998 年第 11 期。

26. 范振宇。公路运行车速测算模型的研究和标定。山西交通科技 2001 年第 6 期。

27. 温学钧、杨屹东、方靖。高速公路运行速度研究。公路交通客气 2002 年第 1 期。

28. 杨少伟、许金良、李伟等。路线设计中车辆行驶速度预测模型。长安大学学报 2003 年第 3 期。

29. 陈胜营、汪亚干、张剑飞。公路设计指南。人民交通出版社 2000 年。

30. 杨玉如。发动机与汽车理论。人民交通出版社 1994 年。

31. American Association of State Highway and Transportation Officials. Highway Safety Design and Operation Guide[M]. Washington, D. C: 1997.

32. Werner Brilon, Ralph Koenig, Rod J Troutbeck. Useful Estimation Procedures for Critical Gaps[J]. Transportation Research, 1999, A 33:161-186.

33. 李文权、王莉、王伟。高速公路上匝道合流区通行能力经验模型[J]. 交通运输工程学报 2004 年第 3 期。

34. 王伟、李文权。无信号交叉口支路多车型捏合车流的通行能力[J]. 中国公路学报 2000 年第 13 期。

35. Blumenfeld D E. G H Weiss. Merging Form Acceleration Lane. Transportation Science [J]. 1971, 5(2): 16-168.

36. Alexander S. Modeling the Traffic Behavior at Grade-Separated Interchanges. Traffic Engineering and Control[J]. 1985, 6(9):410-415.

37. Adams W F Road Traffic Considered as A Random Series. U . S. A: Journal of Institute Civil Engineering. 1936(4).

38. Blumenfeld D E. Weiss G H. Merging from An Acceleration Lane. U . S. A. : Transportation Science, 1971 5(2).

39. Mashrur A Chowdhury , Davey L Warren , Howard Bissel P E . Analysis of Advisory Speed Setting Criteria [J] . Public Road , 1991-11.

40. Francis P D Navin. Estimation Truck's Critical Cornering Speed and Factor of Safety [J] . Journal of Transportation Engineering, 1992 , 118 (1).

41. 苏彩龙。曲线上立交匝道设计探讨。建筑技术开发 2005 年第 32 卷第 2 期。

42. 张惠荣、薛贵山等。浅谈互通式立体交叉变速车道长度的讨论。

43. 殷永山编译。过度式加速车道设计参数的精确计算。辽宁交通科技 1994 年第 4 期。

44. 杨少伟。坡道上变速车道长度的修正。重庆交通大学学报 1997 年第 2 期。

45. 李硕、张祥。高速公路主线流量对入口加速车道设计影响分析。中国公路学报 2000 年第

2 期。

46. 罗霞。高速路变速道长度模拟。优选与管理科学 1989 年第 2 期。
47. 张诗富。关于互通立交设计的几点见解。广东公路科技 2001 年第 3 期。
48. 刘子剑。减速车道的车流特征与设计对策。中南公路工程 1994 年第 2 期。
49. 邵长桥、杨振海等。一种确定加速车道长度的概率统计模型。数理统计与管理 2001 年第 4 期。
50. 孙家驹主编。道路设计资料集(6)交叉设计。人民交通出版社 2003 年。
51. 孙家驹主编。道路立交枢纽设计。电子科技大学出版社 1996 年。
52. 乔翔、蔺惠如。公路立交规划与设计务实。人民交通出版社 2001 年。
53. 中华人民共和国行业标准。公路工程技术标准(JTJ 001-97)。人民交通出版社 1997 年。
54. 中华人民共和国行业标准。公路工程技术标准(JTG B01-2003)。人民交通出版社 2004 年。
55. 中华人民共和国行业标准。公路路线设计规范(JTJ 011-94)。人民交通出版社 1994 年。
56. 中华人民共和国行业标准。公路路线设计规范(JTJ 011-2006)。人民交通出版社 2006 年。
57. 中华人民共和国行业标准。城市路线设计规范(CJJ 37-90)。人民交通出版社 1991 年。
58. 中华人民共和国行业标准。道路交通标志标线(GB5768-1999)。中国标准出版社 1999 年。
59. 中华人民共和国行业标准。高速公路交通安全设施设计及施工技术规范(JTJ074-94)。人民交通出版社 1994 年。

攻读学位期间发表的论文

攻读学位期间发表的论文情况：

- 1、汪向峰，孙家驷，三弯矩法在道路线形设计中应用的探讨，重庆交通大学学报.