

公路线形设计中的可能速度预测模型

杨少伟,张 驰,王海君,潘兵宏,赵一飞

(长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室,陕西 西安 710064)

摘 要:根据可能速度的定义,在初定路线平、纵面各项技术指标的基础上,通过研究汽车动力性能建立了可能速度预测模型,用于检验、评价和控制技术指标和线形设计,达到线形协调和运行安全的目的。通过分别建立横向、轴向和竖向的加速度模型,以及相应的加速度指标模型,最后在 3 种模型的基础上分别计算得到横向、轴向和竖向允许速度,在 3 种速度中取最小值作为预测的可能速度。这为计算可能速度提供了实现手段,也为利用可能速度进行线形一致性评价提供了理论支撑。

关键词:道路工程;可能速度;线形设计;预测模型

中图分类号:U412 **文献标志码:**A

Prediction model of possible velocity in highway alignment design

YANG Shao-wei, ZHANG Chi, WANG Hai-jun, PAN Bing-hong, ZHAO Yi-fei

(Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education,

Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

Abstract: According to the definition of possible velocity and the research on the automobile-power-capability, the prediction model of possible velocity is established by selecting technical indices preliminarily for the road surface and vertical line to check, evaluate and control alignment design. This paper studies the prediction method of possible velocity, including transverse acceleration, vertical acceleration, linear acceleration as well as acceleration model and relevant indices. Finally, the three models are calculated to present the three kinds of possible velocity, the minimum possible velocity is taken as the forecast one. The model can provide the realization method for computing the possible speed in alignment design and traffic simulation. 3 tabs, 3 figs, 8 refs.

Key words: road engineering; possible velocity; alignment design; prediction model

0 引 言

可能速度是指在良好的气候条件和交通条件下,汽车行驶只受公路本身几何条件影响,技术熟练的驾驶人驾驶汽车沿某条公路行驶时可能达到的行驶速度,简称可能速度。在公路线形设计中采用可能速度对线形设计进行评价,目的是检查几何要素指标的取值是否合适、相邻技术指标是否均衡和采用平纵组合

是否协调等问题,同时作为确定超高值、行车视距、爬坡车道、避险车道、变速车道和交通安全设施等的依据,对于提高公路线形设计质量、保障交通安全等具有重要的应用价值^[1]。可能速度预测模型是在初定路线平面、纵断面各项技术指标的基础上,根据汽车的动力性能建立的。本文首先建立了横向加速度、轴向加速度和竖向加速度与速度模型,并分别建立加速度指标模型,最后建立可能速度预测模型。

收稿日期:2007-04-10

作者简介:杨少伟(1956-),男,陕西延安人,教授,博士研究生导师,E-mail:gl06@chd.edu.cn

1 加速度模型

1.1 横向加速度模型

1.1.1 横向加速度计算公式

汽车在圆曲线上行驶的横向加速度为

$$a_{hy} = \frac{V_x^2}{13 R_p}$$
 (1)

式中: a_{hy} 为横向加速度(m/s^2); V_x 为汽车行驶速度(km/h); R_p 为圆曲线半径(m)。

1.1.2 过渡段的横向加速度

当平曲线设置缓和曲线时,应在缓和曲线内线性过渡变化,直线上横向加速度为 0。若四级公路平曲线不设置缓和曲线时,应在超高过渡段内线性过渡变化,此时横向加速度 a'_{hy} 为

$$a'_{hy} = \frac{V_x^2 l}{13 R_p L_s}$$
 (2)

式中: l 为缓和曲线起(终)点距任意点的距离(m); L_s 为缓和曲线长度(m)。

1.2 轴向加速度模型

轴向加速度是因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。

1.2.1 直坡段的轴向加速度

根据文献[2],汽车的轴向加速度 a_z 可表示为

$$a_z = \frac{\lambda g}{\delta} (D - \psi)$$
 (3)

式中: λ 为海拔荷载修正系数; D 为动力因素; ψ 为道路阻力系数; δ 为惯性力系数; g 为重力加速度。

1.2.2 竖曲线段的轴向加速度

当汽车位于竖曲线上时,纵坡度 i_s 采用竖曲线上任意点的切线纵坡度,计算公式为

$$i_s = i_1 \pm \frac{l_s}{R_s}$$
 (4)

式中: i_1 为竖曲线起点或任意已知点的纵坡度(%),上坡为正,下坡为负; l_s 为竖曲线上任意点到竖曲线起点或任意已知点的距离(m); R_s 为竖曲线半径(m); i_s 的取值,当为凹型竖曲线时取正值,凸型竖曲线时取负值。

1.2.3 汽车的换挡行驶

在汽车动力特性图中,如相邻两挡的动力特性曲线相交,则采用相交点的速度作为换挡速度 V_H 。设第 k 挡的动力因数为 D_k ,第 $k+1$ 挡的动力因数为 D_{k+1} ,则

$$\left. \begin{aligned} D_k &= D_{k+1} \\ (P_k - P_{k+1})V_H^2 + (Q_k - Q_{k+1})V_H + \\ (W_k - W_{k+1}) &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

将各挡位下的 P 、 Q 、 W 代入上式(P 、 Q 、 W 均为待定系数),就可解出换挡速度 V_H (km/h)。

如果相邻两挡的动力特性曲线不相交,第 k 挡的加速换挡速度采用该挡的最高速度 V_{max}^k ,减速换挡速度采用第 $k-1$ 挡的最高速度 V_{max}^{k-1} ,有望使行驶速度达到最大^[3]。

1.3 竖向加速度模型

1.3.1 竖向加速度计算公式

竖向加速度是由于纵断面上竖曲线的存在而产生的。不同半径的竖曲线,具有不同的竖向加速度 a_s ,其值为

$$a_s = \frac{V_x^2}{13 R_s}$$
 (6)

1.3.2 竖向加速度的过渡

直坡段竖向加速度应为 0。因竖曲线形式一般采用抛物线,此时 R_s 成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渡,即

$$a_{sg} = \frac{V_x^2 l_s}{13 R_s T}$$
 (7)

式中: a_{sg} 为过渡段的竖向加速度(m/s^2); T 为竖曲线切线长度(m)。

横向、轴向和竖向加速度在某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。

2 加速度指标模型

加速度指标模型如图 1 所示(V_{max} 为最大行驶速度)。

2.1 横向加速度指标

对应中国技术标准^[4],实际采用的最大横向加速度值如表 1 所示。中国设计、建设部门以及相关机构都是以此技术标准为依据,因此本文采用各设计速度所对应的最大横向加速度作为横向加速度指标 $a_{h,max}$ 。

表 1 横向加速度指标

设计速度 / ($km \cdot h^{-1}$)	120	100	80	60	40	30	20
R_{min}/m	650	400	250	125	60	30	15
$a_{h,max}/(m \cdot s^{-2})$	1.704	1.923	1.969	2.215	2.051	2.308	2.051

注: R_{min} 为最小圆曲线半径。

2.2 轴向加速度指标

某挡任意纵坡度 i 对应的轴向加速度指标为

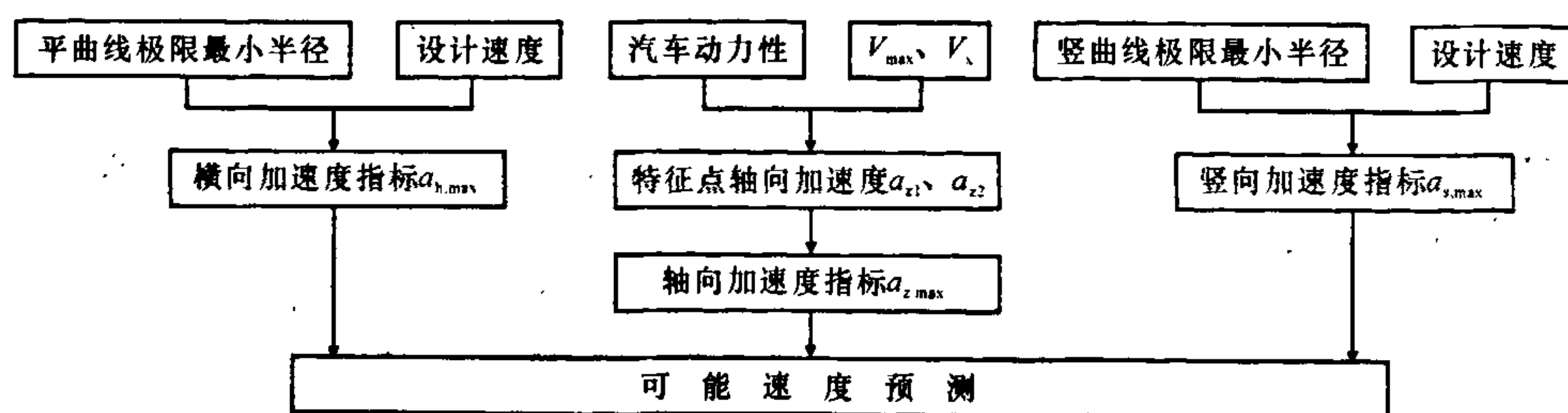


图1 加速度指标模型

$$a_{z,max} = \frac{a_{z2} - a_{z1}}{i_{max}} i + a_{z1} \quad (8)$$

式中: $a_{z,max}$ 为轴向加速度指标 (m/s^2)、 a_{z1} 、 a_{z2} 分别为特征点 1、2 对应的轴向加速度 (m/s^2)、 i_{max} 为各挡最大爬坡度 (%)、 i 为路线纵坡度 (%)。

2.3 竖向加速度指标

本文采用表 2 规定的极限最小竖曲线半径所对应的竖向加速度值作为竖向加速度指标 $a_{s,max}$ 。

表 2 竖向加速度指标

设计速度 / ($km \cdot h^{-1}$)	120	100	80	60	40	30	20
凸形							
R_{min}/m	11 000	6 500	3 000	1 400	450	250	100
$a_{s,max}/(m \cdot s^{-2})$	0.101	0.118	0.164	0.198	0.274	0.277	0.308
凹形							
R_{min}/m	4 000	3 000	2 000	1 000	450	250	100
$a_{s,max}/(m \cdot s^{-2})$	0.277	0.256	0.246	0.277	0.274	0.277	0.308

3 可能速度预测模型

在初定路线平面和纵断面线形的基础上,根据前述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 ,最后取 3 种速度的最小值作为预测的可能速度^[5-8]。可能速度预测模型如图 2 所示。

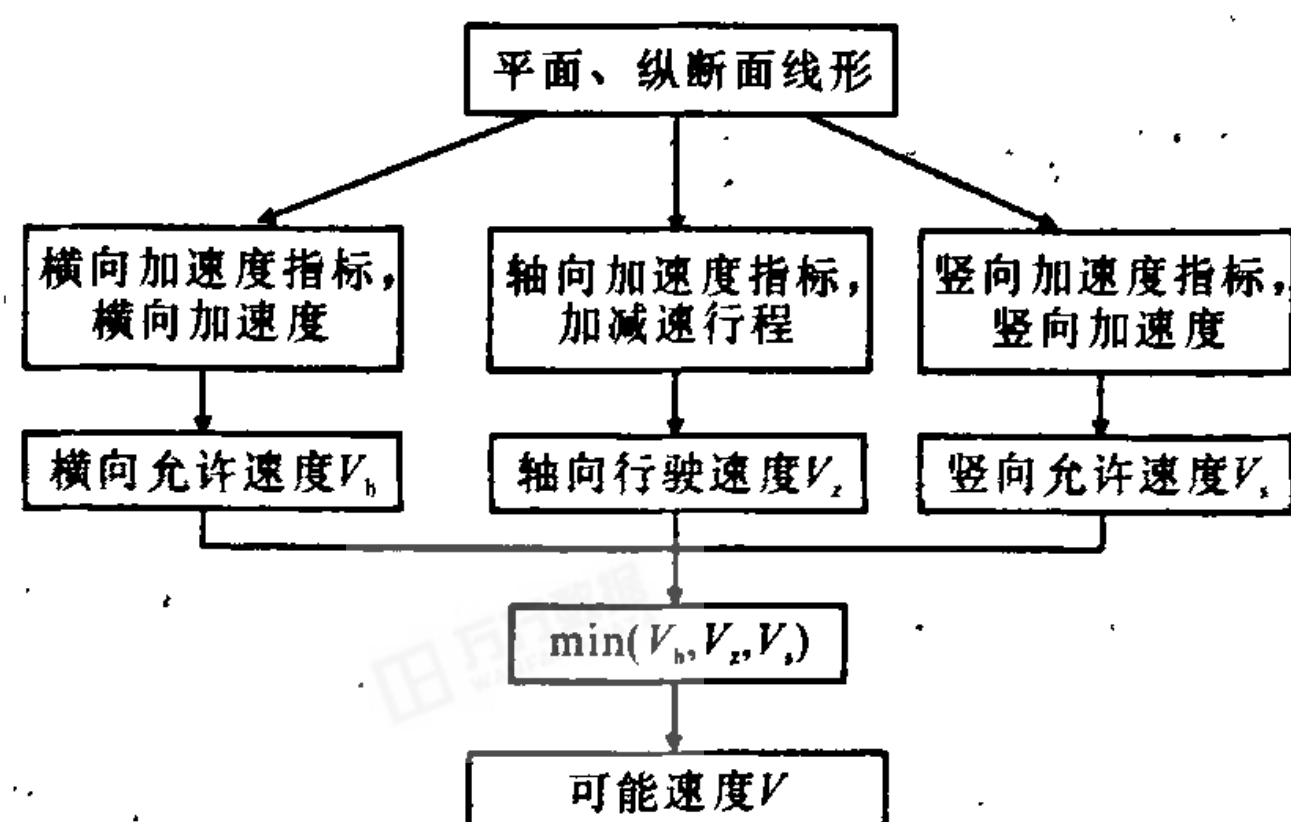


图2 可能速度预测模型

3.1 横向允许速度

圆曲线内横向允许速度 V_{hy} 为

$$V_{hy} = \sqrt{13R_p a_{h,max}} \quad (9)$$

缓和曲线或超高过渡段内横向允许速度 V_{hh} 、 V_{hg} 分别为

$$V_{hh} = \sqrt{13R_p a_{h,max} \frac{L_s}{l}}; V_{hg} = \sqrt{13R_p a_{h,max} \frac{L_c}{l}} \quad (10)$$

式中: L_c 为超高过渡段长度 (m)。

3.2 轴向行驶速度

轴向行驶速度为

$$V_z = V_2 = \sqrt{V_1^2 + 26a_{z,max}} \quad (11)$$

式中: V_1 、 V_2 分别为特征点 1、2 所对应的轴向行驶速度。

3.3 竖向允许速度

竖向允许速度为

$$V_s = \sqrt{13R_s a_{s,max} T/l} \quad (12)$$

3.4 相交点位置和换挡点位置

3.4.1 轴向行驶速度与平曲线内横向允许速度相交

(1) 轴向行驶速度与缓和曲线或超高过渡段内横向允许速度相交点位置,直坡段计算公式为

$$l_{ZH} = \frac{-V_{ZH}^2 + \sqrt{V_{ZH}^4 + 1352R_p L_s a_{h,max} a_{z,max}}}{52a_{z,max}} \quad (l_{ZH} \neq 0) \quad (13)$$

式中: V_{ZH} 为平曲线起点或终点的轴向行驶速度 (km/h)、 l_{ZH} 为相交点到平曲线起点的距离 (m)。

位于竖曲线上计算公式为

$$S = \frac{-(V_1^2 + 26Ca_{z,max}) + \sqrt{(V_1^2 + 26Ca_{z,max})^2 - 104a_{z,max}(V_1^2 C - 13R_p L_s a_{h,max})}}{52a_{z,max}} \quad (14)$$

式中: S 为相交点到缓和曲线内已知点的距离 (m); V_1 为已知点轴向行驶速度 (km/h); C 为平曲线直缓点到已知点距离 (m),当已知点为直缓点时, $C = 0$ 。

(2) 轴向行驶速度等于 V_{max} 的相交点位置为

$$l_{ZH} = \frac{13R_p L_s a_{h,max}}{V_{max}^2} \quad (l_{ZH} \neq 0) \quad (15)$$

3.4.2 轴向行驶速度与竖曲线内竖向允许速度相交

(1) 轴向行驶速度小于 V_{max} 的相交点位置为

$$l_{zs} = \frac{-V_{zs}^2 + \sqrt{V_{zs}^4 + 1352R_s T a_{s,max} a_{z,max}}}{52a_{z,max}} \quad (l_{zs} \neq 0) \quad (16)$$

式中: l_{zs} 为相交点到竖曲线起点的距离 (m); V_{zs} 为竖曲线起点的轴向行驶速度 (km/h)。

(2) 轴向行驶速度等于 V_{max} 的相交点位置为

$$l_{zs} = \frac{13R_s T a_{s,max}}{V_{max}^2} \quad (l_{zs} \neq 0) \quad (17)$$

3.4.3 换挡位置确定

换挡位置计算式为

$$S_H = \frac{V_H^2 - V_G^2}{26a_{z,max}} \tag{18}$$

式中: S_H 为换挡点与其前固定点距离(m); V_G 为固定点速度(km/h); V_H 为换挡速度。

4 可能速度预测模型示例

根据可能速度预测模型,在初定路线平、纵面技术指标后,对某二级公路(设计速度为 80 km/h)进行可能速度预测,其中一段公路的可能速度 V 如表 3、图 3 所示(图中 R_P 、 R_S 、 T 、 L_S 的单位均为 m)。

表 3 某二级公路可能速度值 km/h

桩号	K11+300.00	K11+400.00	K11+514.25	K11+600.00	K11+750.00	K11+900.00	K11+300.00
V	74.5	74.9	77.7	78.3	80.8	84.6	94.0
桩号	K12+400.00	K12+500.00	K12+600.00	K12+700.00	K12+250.00	K12+500.00	K12+581.36
V	95.8	97.2	98.2	98.8	101.9	105.6	107.0
桩号	K13+750.00	K13+127.45	K13+167.09	K13+394.50	K13+494.50		
V	107.0	107.0	83.1	83.1	82.9		

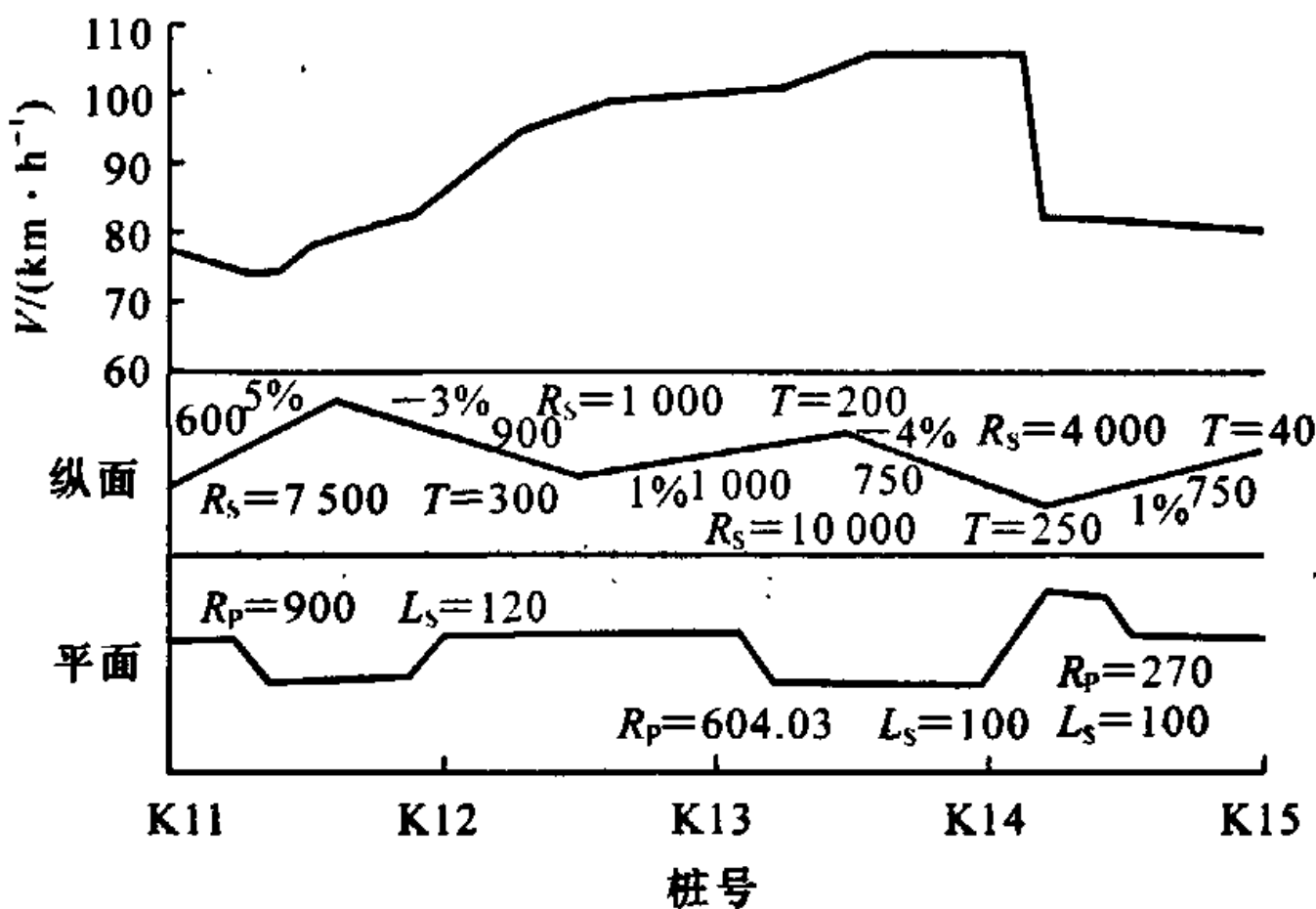


图 3 可能速度

5 结 语

- (1)根据汽车的动力性能,在初定路线平、纵面各项技术指标的基础上,建立了横向加速度、轴向加速度和竖向加速度模型。
- (2)在加速度模型的基础上建立了加速度指标模型,为可能速度的预测提供了理论支撑。
- (3)在初定路线平面和纵断面线形的基础上,根据加速度模型和加速度指标模型,分别计算得到横向允许速度、轴向行驶速度和竖向允许速度,最后取这 3 种速度的最小值作为预测的可能速度。
- (4)据此建立的可能速度预测模型为计算可能速度提供了实现手段,同时也为利用可能速度进行线形一致性评价提供了理论支撑。

参考文献:

References:

[1] 杨少伟,石飞荣,潘兵宏,等.可能速度及其在公路线形设计中的应用方法[J].长安大学学报:自然科学版,2004,24(3):1-4.
YANG Shao-wei, SHI Fei-rong, PAN Bing-hong, et al. Application of possible velocity in design for highway

alignment[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2004, 24(3): 1-4.
[2] 程秀生,张 兵.汽车驾驶模拟器换挡工况最佳模式确定方法的研究[J].中国公路学报,1998,11(4): 100-105.
CHENG Xiu-sheng, ZHANG Bing. A study of optimum patterns of shifting in the automobile driving simulator [J]. China Journal of Highway and Transport, 1998, 11(4): 100-105.
[3] 杨少伟,石飞荣,慕 慧,等.运行车速预测中的汽车换挡[J].长安大学学报:自然科学版,2004,24(2): 34-36.
YANG Shao-wei, SHI Fei-rong, MU Hui, et al. Shifting regulation of predicting vehicle speed[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2004, 24(2): 34-36.
[4] JTG B01-2003,公路工程技术标准[S].
[5] 张亚平,张起森.高速公路速度-流量模型研究[J].中国公路学报,2000,13(3):73-77.
ZHANG Ya-ping, ZHANG Qi-sen. A study of models of speed-flow for freeways[J]. China Journal of Highway and Transport, 2000, 13(3): 73-77.
[6] 魏 朗,周维新,李春明,等.驾驶员道路认知特性模型[J].交通运输工程学报,2005,5(4):116-120.
WEI Lang, ZHOU Wei-xin, LI Chun-ming, et al. Driver perception model for road structure parameters [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2005, 5(4): 116-120.
[7] 魏 朗,高丽敏,余 强,等.驾驶员道路安全感受模糊评判模型[J].交通运输工程学报,2004,4(1):102-105.
WEI Lang, GAO Li-min, YU Qiang, et al. Fuzzy evaluating model of driver's road safety perception[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2004, 4(1): 102-105.
[8] Suetomi T, Horiuchi A, Okamoto Y, et al. Driving simulator with large amplitude motion system[J]. Society of Automotive Engineer Transactions, 1991, 100(6): 94-101.