第 29 卷 第 3 期
2009 年 5 月

长安大学学报(自然科学版)
Journal of Chang'an University(Natural Science Edition)

Vol. 29 No. 3
May 2009

文章编号: 1671-8879(2009)03-0054-04

公路三维视距的检验方法

张 驰, 杨少伟, 赵一飞, 潘兵宏
(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: 为了精确计算公路在三维空间中的实际视距, 在公路行车视距的基础上, 结合道路平、纵、横的道路线形, 提出了三维计算模型和三维视距计算模型; 通过检验三维视线上任意一点与其对应道路上点的高程关系, 判断路面或路侧是否对视线造成遮挡, 最后提出了三维视距检验的流程。研究结果表明: 该模型和算法简洁直观, 易于实现; 在设计中, 能及时表现行车视距的不利因素, 为改进线形设计提供帮助; 为自动检验三维视距提供了实现手段, 同时也为利用三维视距进行安全性评价提供了技术支撑。

关键词: 道路工程; 三维视距; 视距检查; 道路模型; 安全性评价
中图分类号: U 411 文献标志码: A

Methods of three-dimensional sight distance inspection for highway

ZHANG Chi, YANG Shao-wei, ZHAO Yi-fei, PAN Bing-hong
(Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

Abstract: In order to accurately calculate the actual sight distance in three-dimensional space, combined with road alignment in horizontal, vertical and lateral section, a three-dimensional (3D) calculation model and 3D sight distance calculation model of road alignment are proposed, based on driving sight distance for highway. By inspecting the height relationship between an arbitrary point of line of sight and associated road point, the authors judge whether the surface and roadside cause occlusion about line of sight. Finally, the authors put forward the procedure of three-dimensional sight distance test. This model provides realization means for automatic checking of 3D sight distance and offers technological support for safety appraisal by using 3D sight distance. 2 tabs, 5 figs, 10 refs.

Key words: road engineering; 3D sight distance; sight distance inspection; road model; safety appraisal

0 引 言

行车视距是否充分, 直接关系着行车的安全与快速, 它是分析和评价公路设计和使用质量的重要指标之一[1]。目前的公路路线设计, 行车视距是从平面线形和纵面线形 2 个方面考虑的。然而, 公路是由平、纵、横 3 方面组合而成的不规则的三维空间体。因此, 有必要在三维空间中对所设计的公路路线行车视距进行检验和校核, 找出对视距产生不利影响的路段, 以便设计人员调整和修改平、纵、横的

收稿日期: 2008-06-12
作者简介: 张 驰(1981-), 男, 四川南溪人, 工程师, 工学博士研究生, E-mail: 4102109@qq.com。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

参数设计, 以满足视距要求。近年来, 关于视距计算检验方面的探讨和研究也有报道, 如将公路行车道和路肩等几何特征以参数化的形式来描述, 提出了计算三维视距的方法和数学模型[2]; 通过构建一般公路的三维计算模型, 提出了驾驶人视线在三维道路计算模型中的遮挡计算方法[3]; 通过计算机仿真试验来研究驾驶人特征和公路几何参数对视距的影响, 在统计分析的基础上建立了线性的视距模型[4]; 引进分段式三次抛物线, 提出了分段式三次抛物线的视距计算方法[5]; 将路面描述为三角网模型, 提出了通过检验驾驶人视线与该模型是否相交来计算行车视距的方法[6]。这些研究的目的大都在于更为精确和便捷地计算三维条件下的行车视距, 其主要考虑的是行车道、路面对行车视距的影响。但是, 实际上公路周围附属设施对公路行车安全至关重要。为此, 本文提出三维视距的计算方法, 据此探讨视距检验的方法和流程, 以便设计人员自动高效地分析视距, 为调整公路平、纵、横线形提供依据, 提高公路线形的设计质量[7-10]。

1　视　距

1.1　停车视距

停车视距指从驾驶人发现车道上有障碍物到汽车在障碍物前安全停止所需要的最短距离, 包括反应距离、制动距离和汽车停止后距障碍物的安全距离(5~ 10 m)。表 1 是中国规定的最小停车视距。

表 1　各等级公路停车视距

道路等级	高速公路、一级公路				二、三、四级公路				
设计速度/(km·h^{-1})	120	100	80	60	80	60	40	30	20
停车视距/m	210	160	110	75	110	75	40	30	20

1.2　超车视距

在双车道公路上, 高速车辆利用对向车道超越慢速车辆时, 首先判断本车与对向车道上的车辆是否有足够的间距, 在不至于与对向车辆发生碰撞时才能超车。在该段时间内, 双向车辆同时驶过的路程长度之和, 称为超车视距(表 2)。

表 2　中国二、三、四级公路的最小超车视距

设计速度/(km·h^{-1})	80	60	40	30	20
超车视距/m	550	350	200	150	100

2　公路三维视距检验原理

通过建立道路线形三维计算模型和视线三维计算模型, 计算驾驶人视点到物点所构成的三维视线上任一点的高程值, 并根据三维视线在道路上的投影原理, 计算路线上任一点对应道路上的高程值。比较两者之间关系, 便可检查出道路上遮挡视线的范围。根据规定: 小客车对应规定视点高 1.2 m, 物高 0.1 m; 大货车对应视点高 2.0 m, 物高 0.1 m。

三维视距检验的步骤为: ①建立道路线形三维计算模型, 通过模型计算出道路上任意点的三维坐标; ②建立驾驶人视点到物点所构成的三维视线计算模型, 通过模型计算出视线上任一点的高程和投影到道路上的平面坐标; ③根据视线上任意一点投影的平面坐标, 反算投影点对应主线的桩号和距离; ④通过道路线形三维计算模型, 求出投影点的高程; ⑤通过比较视线上任一点和其投影点的高程, 判断视线是否被路面或者路侧所遮挡; ⑥记录所有路面或路侧遮挡点的桩号和高程。

3　道路线形三维计算模型

3.1　道路中心线三维坐标计算方程

根据文献[3], 可得出路线的中心线方程为

$$\left.\begin{aligned} k(s) &= ax(s) + b \\ \varphi(s) &= \varphi_0 + \int_0 k(s)\,\mathrm{d}s \\ x(s) &= x_0 + \int_0 \cos(\varphi(s))\,\mathrm{d}s \\ y(s) &= y_0 + \int_0 \sin(\varphi(s))\,\mathrm{d}s \end{aligned}\right\} \tag{1}$$

式中: $k(s)$ 为桩号点 s 处的曲线曲率, 直线上 $k(s)=0$, 圆曲线上各点曲率相同, 为半径的倒数, $k(s)=b$, 回旋线上各点曲率呈线性变化, $k(s)=ax(s)+b$; φ_0、$\varphi(s)$ 分别为起点、s 点的切线与 x 轴正方向的夹角(规定以逆时针方向为正); $x(s)$、$y(s)$ 分别为中线上桩号点 s 对应的横、纵坐标值; x_0、y_0 为起点坐标; a、b 均为参数。

路中线的标高方程 $z(s)$ 为

$$z(s) = \begin{cases} z_{fk} + G_{2k}(s - v_{fk}) & s \in [v_{fk}, v_{o(k+1)}] \\ z_{fk} + G_{2k}(s - v_{fk}) - \dfrac{|G_{1k} - G_{2k}|}{2} \cdot \\ \qquad (s - v_{o(k+1)})^2 & s \in [v_{o(k+1)}, v_{f(k+1)}] \end{cases} \tag{2}$$

式中: G_{1k}、G_{2k} 分别为第 k 段竖曲线的前坡和后坡; v_{ok}, v_{fk} 分别为第 k 段竖曲线的起点、终点桩号, 其他以此类推; z_{fk} 为第 k 段竖曲线终点的高程值。

3.2　道路中心线平行线的三维坐标计算方程

路中线切线方向的单位向量 $\boldsymbol{T}(s)$ 表示为

$$\boldsymbol{T}(s) = \begin{bmatrix} x'(s) / \sqrt{(x'(s))^2 + (y'(s))^2} \\ y'(s) / \sqrt{(x'(s))^2 + (y'(s))^2} \end{bmatrix} \tag{3}$$

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

通过单位向量推出路线的法线方程 $\boldsymbol{N}(s)$ 为

$$\boldsymbol{N}(s)=\begin{bmatrix}0 & 1\\ -1 & 0\end{bmatrix}\boldsymbol{T}(s)=\begin{bmatrix}T_y(s)\\ -T_x(s)\end{bmatrix} \tag{4}$$

根据式(3)、式(4), 推出与路中线平行、且距离中线宽度为 w 的轨迹线方程为

$$\boldsymbol{P}(s)=\begin{bmatrix}x(s)\\ y(s)\end{bmatrix}+w\begin{bmatrix}T_y(s)\\ -T_x(s)\end{bmatrix} \tag{5}$$

式中: $\boldsymbol{P}(s)$ 为与 $\boldsymbol{T}(s)$ 平行的向量; w 为驾驶人距道路中线的距离(对于一条公路, 其值一般为常数); $T_x(s)$、$T_y(s)$ 分别为向量 $\boldsymbol{T}(s)$ 在 x、y 方向的值。

考虑超高因素, 可推出与路中线平行、且距离中线宽度为 w 的轨迹线上任一点的高程方程为

$$e(s)=\begin{cases}\operatorname{sgn}(w)(s-r_{ok})\cdot\\ \dfrac{e_i\operatorname{sgn}(\varphi(s))\operatorname{sgn}(w)-e_c}{r_{fk}-r_{ok}}+e_c & r_{ok}\leqslant t<r_{fk}\\ e_k\operatorname{sgn}(\varphi(s)) & t\geqslant r_{fk}\end{cases}$$

$$z^n(s)=z(s)+w\frac{e(s)}{100} \tag{6}$$

式中: $\operatorname{sgn}(\cdot)$ 为符号函数; e_i 为路线超高绝对值; e_k 为第 k 段路线超高绝对值; e_c 为路拱横坡值; r_{ok}、r_{fk} 分别为超高过渡段的起点、终点桩号。

假设路线横断面方向坡度变化较多, 比如与行车道横坡值不同的硬路肩、土路肩、边沟和边坡等(图 1), 则路面上任一点的高程 $W(s,w)$ 计算式为

$$W(s,w)=z(s)+\sum_{j=1}^{n-1}w_j\frac{i_j}{100}+\left(w-\sum_{j=1}^{n-1}w_j\right)\frac{e_n}{100} \tag{7}$$

式中: w_j 为横断面各部分的宽度; i_j 为横断面各部分的坡度; e_n 为最后一段标高值。

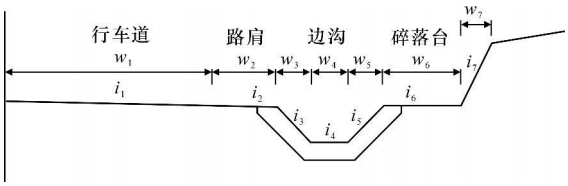


图 1 横断面坡度的变化

利用式(7)还可以考虑中央分隔带或者路侧存在护拦的情况, 此时, 可以把护拦看成是横断面的一部分, 且由垂直边坡和平距构成。

4 三维视距计算模型的建立

4.1 视线三维坐标计算方程

假设驾驶人位于桩号点 s(其值为 s) 处, 距离道路中线距离为 w, 驾驶人视点高度为 D_d, 物点高度 D_o, 如图 2、图 3 所示。驾驶人视点 A 投影到路面点 A' 的坐标为 $Q(s)$。根据视距值 d推出物点 B 投影到路面点 B' 的坐标为 $Q(s+d)$。$A'B'$ 上任一点平面坐标(T 点与 A 点间的距离) $S(t)$ 的计算式为

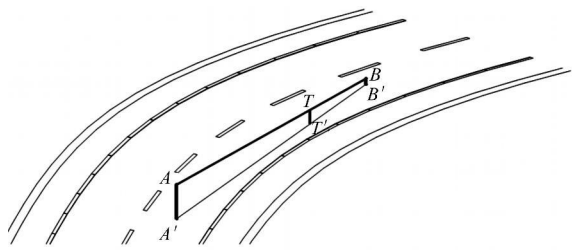


图 2 三维视距计算模型

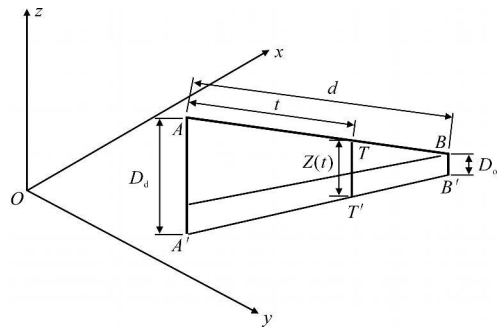


图 3 视线上任意一点的高程计算

$$S(t)=Q(s)+t\frac{Q(s+d)-Q(s)}{\|Q(s+d)-Q(s)\|} \tag{8}$$

式中: T 为平面上任意一点; T' 为 T 点的投影; t 见图 3 中标注。

如图 3 所示, 利用空间三角形的相似关系, 可以得出视线 AB 上任一点 T 的高程 $Z(t)$ 的计算式为

$$Z(t)=\frac{d-t}{(D_d-D_o)d}+D_o \tag{9}$$

4.2 视线水平投影上任一点对应主线的桩号和距离

以点 A' 对应的中线点 S 为初始点, 使其逐步趋近 T' 点对应的中线点, 为此计算 T' 至 S 右侧法线方向的距离 dK 和 dD(见下页图 4)。其计算式为

$$\left.\begin{aligned}\mathrm{d}K&=\Delta y_{T'S}\sin(\varphi(s))+\Delta x_{T'S}\cos(\varphi(s))\\ \mathrm{d}D&=-\Delta x_{T'S}\cos(\varphi(s))+\Delta y_{T'S}\sin(\varphi(s))\end{aligned}\right\} \tag{10}$$

式中: $\Delta y_{T'S}$ 为点 T' 与点 S 纵坐标的差值; $\Delta x_{T'S}$ 为点 T' 与点 S 横坐标的差值。

给定计算精度 $\xi>0$, 若 $|\mathrm{d}K|\leqslant\xi$ 则 S 点即为 T' 对应的中线点, dD 即为 T' 与中线的距离; 若 $|\mathrm{d}K|>\xi$, 则令 $S=S+\xi$ 利用式(10)重新计算。

5 三维视距检验流程

利用计算机仿真技术, 可自动快速地将道路起点至终点的视距在三维条件下进行检查, 并依次记录存在视距障碍点所对应的主线桩号和视线与道路的高差值。为了保证行车视距, 根据桩号差和高程差

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

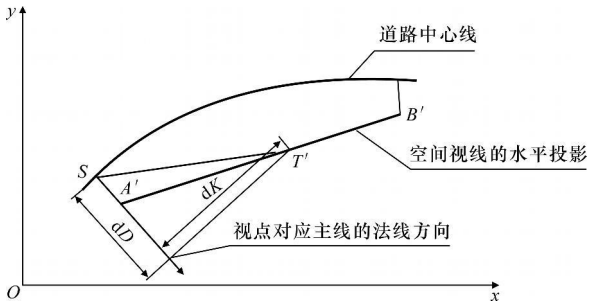
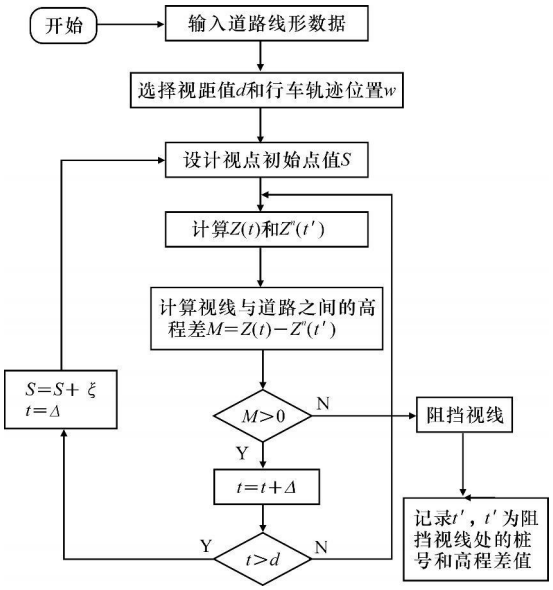


图 4　视线水平投影上任一点对应主线的桩号和距离

能进一步计算需要改造的段落长度和工程量大小。三维视距检验流程如图 5 所示(Δ为微小增量)。



注: $Z^n(t)$ 为道路高程。

图 5　三维视距检验流程

6　结　语

(1) 构建了道路线形三维模型和视线三维计算模型的方法, 通过分析视线上任意一点与其对应路面或路侧上点的标高之间关系, 判断路面或者路侧是否对三维视线造成遮挡。

(2) 模型和算法简洁直观, 易于实现, 为路线平、纵、横设计提供了有效的辅助手段, 能够及时发现影响行车视距的不利因素, 便于调整和改进路线设计。

(3) 利用计算机仿真技术, 提出基于三维视距的视距安全检验流程, 能对道路三维视距进行快速检验, 对公路几何设计和安全评价具有重要的意义。

参考文献:

References:

[1] 杨少伟. 道路勘测设计[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004.

[2] Ismail K, Sayed T. New algorithm for calculating 3D available sight distance[J]. Journal Transportation Engineering, 2007, 133(10): 572-581.

[3] Lovell D J. Automated calculation of sight distance from horizontal geometry[J]. Journal Transportation Engineering, 1999, 125(4): 297-304.

[4] Yasser H, Tarek S. Effect of driver and road characteristics on required preview sight distance[J]. Canadian Journal of Civil Engineering, 2002, 29(2): 276-288.

[5] 杜博英, 方守恩. 分段式三次抛物线的视距及设计方法[J]. 公路交通科技, 2002, 19(5): 45-47.
DU Bo-ying, FANG Shou-en. Sight distance and design method of the transitioned vertical curve[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2002, 19(5): 45-47.

[6] 王福建, 曾学贵. 公路行车视距检验的三维表面模型方法[J]. 公路交通科技, 1999, 16(1): 20-22.
WANG Fu-jian, ZENG Xue-gui. 3D surface model method for highway sight distance test[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 1999, 16(1): 20-22.

[7] 赵永平, 杨少伟, 赵一飞. 具有中央分隔带公路弯道外侧超车车道的视距[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2004, 24(5): 31-34.
ZHAO Yong-ping, YANG Shao-wei, ZHAO Yi-fei. Passing lane stopping sight distance outside of median divider in freeway [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2004, 24(5): 31-34.

[8] 李文权. 高速公路路侧标志遮挡问题[J]. 交通运输工程学报, 2006, 6(3): 97-102.
LI Wen-quan. Blocking problem of freeway side traffic signs [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2006, 6(3): 97-102.

[9] 郭应时, 付　锐, 袁　伟, 等. 通道宽度对驾驶员动态视觉和操作行为的影响[J]. 中国公路学报, 2006, 19(5): 83-87.
GUO Ying-shi, FU Rui, YUAN Wei, et al. Influences of passage width on driver's dynamic vision and operation behavior[J]. China Journal of Highway and Transport, 2006, 19(5): 83-87.

[10] 王　佐, 刘建蓓, 郭腾峰. 公路空间视距计算方法与检测技术[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2007, 27(6): 44-47, 62.
WANG Zuo, LIU Jian-pei, GUO Teng-feng. Calculating method and appraising technique of highway 3D-view sight distance[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2007, 27(6): 44-47, 62.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net