

文章编号:1671-8879(2007)06-0044-04

公路空间视距计算方法与检测技术

王 佐, 刘建蓓, 郭腾峰

(中交第一公路勘察设计研究院, 陕西 西安 710075)

摘 要:为了精确计算公路在三维空间中的实际视距,提出了空间视距的概念,通过延伸应用空间两点通视原理,建立了空间视距计算和分析的数学模型。基于计算机仿真技术开发出对空间视距的实时检测技术,通过将设计视距、运行视距和空间视距 3 种视距对比分析,给出了发现视距不足的方法。与早前的视距计算方法和研究相比,该方法对正常路面、行车道空间视距计算准确,能够计算和分析公路路侧附属设施对视距的影响,为公路几何设计和安全评价提供了依据。

关键词:道路工程;公路几何设计;行车视距;空间视距;安全评价

中图分类号:U411

文献标志码:A

Calculating method and appraising technique of highway 3D-view sight distance

WANG Zuo, LIU Jian-pei, GUO Teng-feng

(The First Highway Survey & Design Institute of China Co Ltd, China Communication
Construction Company Ltd, Xi'an 710075, Shaanxi, China)

Abstract: In order to accurately calculate the actual sight distance in three-dimensional space, this paper puts forward the concept of 3D-view sight distance, sets up a mathematical model for calculation and analysis of 3D-view sight distance by applying and extending the intervisible principle between two dots. Based on computer virtual simulation technology, it develops real time checking technique for 3D-view sight distance, and puts forward a method of finding short of sight distance by contrasting three kinds of sight distance: design-vehicle sight distance, driving sight distance and 3D-view sight distance. Compared with former calculating methods and researches of sight distance, this method not only gives a way for accurately calculating 3D-view sight distance on normal pavement and carriageway, but also achieves the impact of roadside facilities on sight distance, provides a basis for highway geometric design and traffic safety evaluation. 5 figs, 10 refs.

Key words: road engineering; highway geometric design; driving sight distance; 3D-view sight distance; safety appraisal.

0 引 言

视距是保证行车安全的一项重要设计指标,是

公路工程建设标准中强制性指标之一。公路沿线的每一车道应有足够的视距,使驾驶人能及时察觉潜在的危险,并做出正确反应,保证行车安全。因此,

收稿日期:2006-12-15

作者简介:王 佐(1965-),男,陕西商县人,高级工程师,E-mail:liujp09@gmail.com。

公路行车视距的计算与检查是公路设计的一项重要内容。公路行车视距检验的常规方法主要有最大横净距计算方法和图解法(绘制视距包络图)等,这些方法简便实用,但均为二维检查方法,不能综合计算空间三维视距。近年来,国内外不少研究人员对准确和便捷计算三维条件下的行车视距进行了有益的探索。文献[1]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;文献[2]通过计算机仿真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;文献[3-4]引进分段式三次抛物线,提出了分段式三次抛物线的视距设计方法;文献[5]采用三角网模型描述路面模型,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。上述方法主要考虑的是行车道、路面对行车视距的影响,但没有研究公路护栏、标志牌、标线等附属设施对行车视距的影响^[6-10]。为此,本文提出了空间视距计算方法和基于虚拟仿真技术的空间视距评价技术,不仅能够计算路面和行车道即道路几何条件所提供的行车视距,还可以考虑道路其他附属设施对安全视距的影响。

1 行车视距相关概念

1.1 设计视距与运行视距

行车视距分为停车视距、会车视距和超车视距等。对于同一设计速度要求的行车视距是一个定值,即“设计视距”,如高速公路的设计视距是指停车视距。

恒定的设计速度与驾驶人在公路上行驶的实际速度往往不符合,实际车速常常随着道路条件的变化而改变,许多国家已经开始研究使用运行速度设计方法,对运行速度提出了“运行视距”的概念,即车辆以实际运行速度行驶时对应的行车视距。运行视距随运行速度在不断变化。

1.2 空间视距

空间视距是指在公路区域的真实三维环境中,按照视点高度和物点高度的要求,驾驶人在视点最不利车道上(弯道、竖曲线、路侧设施、植被和障碍物等的影响)实际所能看到行车道上物体的最远距离。空间视距也可以理解为考虑公路附属构造物影响条件下的、驾驶人视线与车行道上物点之间没有遮挡的最大通视距离。

空间视距受公路本身几何尺寸、沿线交通附属设施和路侧构造物等的影响而时刻变化。通过比较公路要求的设计视距与公路本身能提供的空间视

距,可以实时判定公路车辆实际的设计视距是否能保证行驶安全是否存在隐患。对空间视距达不到设计视距要求的情况,可以在三维模型中通过计算求解,确定空间视距不足,找出遮挡的原因。这样既能够发现因路面和行车道本身几何线形条件所造成的视距不足的情况,还能够发现公路附属设施和构造物遮挡而引起的视距不足现象。

2 空间视距计算模型

2.1 空间视距的分析原理

2.1.1 空间两点的通视原理

通过判断空间两点间连线是否穿越其他物体(或实体面)的方法,计算空间两点是否直接通视,其原理如图1所示。把空间两点通视原理应用到公路视距计算中时,其中一点是驾驶人的视点,另一点就是公路上可能出现的障碍物。通过计算判定这两点连线是否穿越了道路环境中的某一实体(或三维面),便可以确定这两点是否直接通视,也就是视线是否被遮挡。

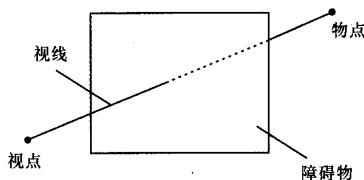


图1 空间两点通视原理

2.1.2 空间视距计算原理

建立公路区域的全三维模型,利用计算机仿真技术模拟公路交通条件下的行车状态,车辆分别在单向行驶的两个车道的中心点位置,延伸利用上述空间两点通视原理,计算出驾驶人视点位置所能看到前方路面上物体的最远距离,即得到空间视距。

在仿真环境中实现空间视距计算的原理如下:

(1)初始设定。首先在人眼视觉范围内,给定一个视点距目标点的范围值,将它设置成变量。同时设定视点为 p_1 ,远处目标桩号的路面最左侧边缘目标点位为 p_2 ,目标桩号路面最右侧目标点位为 p_3 ,这3点构成“视线三角面”,如图2所示。

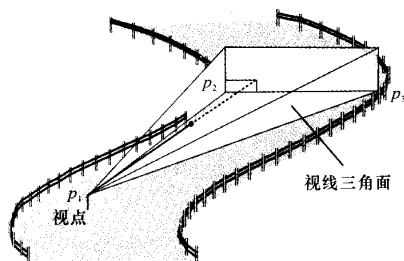


图2 空间视距求解原理

(2) 将公路区域模型中的任意曲面,离散成若干三角面。通过视线三角面与公路区域内其他三角面相交计算,将交线投影变换,得到实际的空间视距。

2.2 空间视距的计算方法

2.2.1 视点和目标点的坐标公式

(1) 设公路行车道中心曲线方程为

$$x_0 = x(t)$$

$$y_0 = y(t)$$

式中: t 为参变量。

考察范围内点的高程记为

$$z_0 = z(t, w)$$

式中: w 为支距(从路线中心线偏移至行车道中心的距离)。那么,视点 p_1 的坐标公式为

$$x_1 = x(t) + \frac{w_1 y'(t)}{\sqrt{x'(t)^2 + y'(t)^2}}$$

$$y_1 = y(t) - \frac{w_1 x'(t)}{\sqrt{x'(t)^2 + y'(t)^2}}$$

$$z_1 = z(t, w_1) + h_1$$

式中: w_1 为支距(对于一条公路,其值一般为常数);

h_1 为目高,一般为 1.2 m 或 2.0 m。

(2) 路面最左边缘目标点 p_2 计算公式为

$$x_2 = x(t+s) + \frac{w_2 y'(t+s)}{\sqrt{x'(t+s)^2 + y'(t+s)^2}}$$

$$y_2 = y(t+s) - \frac{w_2 x'(t+s)}{\sqrt{x'(t+s)^2 + y'(t+s)^2}}$$

$$z_2 = z(t+s, w_2) + h_2$$

式中: w_2 为支距;常数参变量增量 s 为常数; h_2 为物高,一般为 0.1 m。

(3) 路面最右边缘目标点 p_3 计算公式为

$$x_3 = x(t+s) + \frac{w_3 y'(t+s)}{\sqrt{x'(t+s)^2 + y'(t+s)^2}}$$

$$y_3 = y(t+s) - \frac{w_3 x'(t+s)}{\sqrt{x'(t+s)^2 + y'(t+s)^2}}$$

$$z_3 = z(t+s, w_3) + h_3$$

式中: w_3 为支距; h_3 为物高,一般情况下取 $h_2 = h_3$ 。

2.2.2 视线平面方程推导

通过 $p_1(x_1, y_1, z_1)$ 、 $p_2(x_2, y_2, z_2)$ 、 $p_3(x_3, y_3, z_3)$ 3 点可确定“视平面”,其方程为

$$\begin{vmatrix} x & y & z & 1 \\ x_1 & y_1 & z_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & z_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & z_3 & 1 \end{vmatrix} = 0$$

其一般式为 $Ax + By + Cz + D = 0$

$$\text{其中 } A = \begin{vmatrix} y_2 - y_1 & z_2 - z_1 \\ y_3 - y_1 & z_3 - z_1 \end{vmatrix}$$

$$B = \begin{vmatrix} z_2 - z_1 & x_2 - x_1 \\ z_3 - z_1 & x_3 - x_1 \end{vmatrix}$$

$$C = \begin{vmatrix} x_2 - x_1 & y_2 - y_1 \\ x_3 - x_1 & y_3 - y_1 \end{vmatrix}$$

$$D = -(Ax_1 + By_1 + Cz_1)$$

除以 $\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}$ 就可以化为法线式

$$x \cos \alpha + y \cos \beta + z \cos \gamma - p = 0$$

式中: α, β, γ 均为计算平面法线的方向角。

2.2.3 “视线三角面”与其他面的求交

将“视线三角面”旋转为水平面,再平移为高程为 0 的水平面。将视线范围内的其他相关曲面、平面也进行类似变换,然后考察三角区内相关点(即参考点)的高程坐标。若有大于 0 的点,则为遮挡点。

(1) 一般坐标变换公式。假设新坐标系的方向余弦矩阵为

$$\begin{bmatrix} l_1 & l_2 & l_3 \\ m_1 & m_2 & m_3 \\ n_1 & n_2 & n_3 \end{bmatrix}$$

则坐标旋转变换公式为

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} l_1 & l_2 & l_3 \\ m_1 & m_2 & m_3 \\ n_1 & n_2 & n_3 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}$$

针对具体旧坐标,在计算新坐标时,可用以下逆矩阵的方式表示为

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} l_1 & l_2 & l_3 \\ m_1 & m_2 & m_3 \\ n_1 & n_2 & n_3 \end{bmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$$

将视平面旋转为水平面,该平面的法方向就是新坐标系的 OZ 方向。于是,方向余弦 (n_1, n_2, n_3) 的值为

$$n_1 = \cos \alpha$$

$$n_2 = \cos \beta$$

$$n_3 = \cos \gamma$$

OX 可取 $p_2 p_3$ 的方向, OY 可取 p_1 指向其在 $p_2 p_3$ 垂点 (x_d, y_d, z_d) 的方向,将视平面旋转变换。

(2) 水平面的平移转化。坐标旋转后,所有视平面上的点具有相同的 Z 坐标,记为 Z_0 ,令

$$Z - Z_0 \Rightarrow Z$$

2.2.4 空间视距遮挡的判别及其空间距离的计算

(1) 对于旋转变换后的视平面,对应的新平面区域范围内 $\Delta p_1 p_2 p_3$ 就是需要考察的有效范围。考

察方法如下:将公路区域任意面上的参考点原坐标 (x_c, y_c, z_c) 通过上述公式转换为新坐标 (X_c, Y_c, Z_c) ,判断水平投影点 (X_c, Y_c, Z_c) 是否位于视平面 $\Delta p_1 p_2 p_3$ 之内。若不在 $\Delta p_1 p_2 p_3$ 之内,则参考点不可能为遮挡点;若在 $\Delta p_1 p_2 p_3$ 之内,再依据 Z_c 是否大于 Z_0 来判断其遮挡性。

(2)计算视点距遮挡点的空间距离,在原“视线三角面”内最近的距离就是要求的空间视距。

2.3 空间视距的适用性

利用空间视距进行公路视距检测,是基于公路的立体几何条件,考虑了多种影响因素,与以往方法相比,其分析结果更精确、直观、全面,符合实际。

另外,空间视距测算方法还可用于分析汽车在行驶过程中前车对后车的视距影响的测算分析;可测算行车过程中驾驶人对标志牌等的可视距离、可视时间,以判断标志牌设置间距的合理性。

3 公路安全视距检测技术

3.1 基于虚拟仿真技术实现空间视距的检测与分析

利用计算机技术和公路仿真漫游技术,建立公路的三维虚拟仿真环境,真实再现汽车在公路上行驶的实际场景。利用前述空间视距计算方法,沿公路行驶轨迹线实时测算其实际的空间视距,并将空间视距与公路要求的设计视距或运行视距沿同一路线桩号绘成二维的曲线图并叠加,通过对空间视距和设计视距或运行视距分布关系的曲线分析,对公路几何线形、横断组成、交通设施及其他附属物体进行全面检验,如图3、图4所示。具体方法步骤如下:

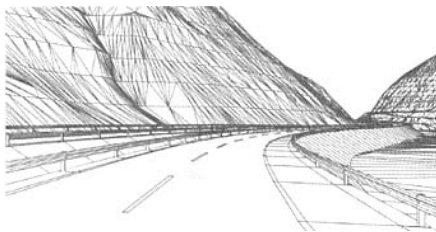


图3 空间视距线



图4 空间视距渲染

(1)首先建立道路三维立体模型,包括两侧护栏、分隔带植物和标志牌等。

(2)在虚拟仿真系统中建立道路虚拟现实环境;在虚拟仿真系统中开发空间视距检测模块功能,即通过逐点扫描方式,按照适度步长扫描获得驾驶人前方空间视距。

(3)记录逐桩空间视距结果,沿公路里程桩号绘图。对比分析空间视距、设计视距和运行视距的曲线图,对公路线形、视距进行检验和分析,见图5。

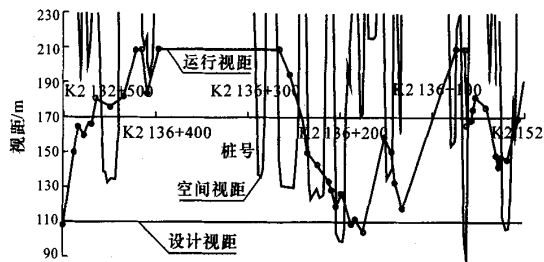


图5 空间视距对比分析

3.2 视距不足及改善方法

在图5中,当空间视距低于运行视距和设计视距时,即为视距不足。当视距不足时,在公路几何设计中一般需进行必要的优化设计加以改善。改善措施要根据检测出的遮挡原因具体分析,区别对待。

4 结 语

(1)运用空间视距计算原理和模型,可以精确地计算公路三维空间视距。同时,还可通过对遮挡模型的求解,判断分析影响空间视距的具体原因,以供公路几何设计中采取改善措施。

(2)基于仿真技术的公路空间视距检测技术,能够实时精确地测算公路空间视距,输出视距对比分析图。该技术将成为公路空间视距测算的主要方法,对公路几何设计和安全分析评价具有重要意义。

(3)基于空间视距计算模型和检测技术,笔者将进一步分析研究互通式区域、匝道出入口、平面交叉口的视距和交通标志牌设置位置等问题。

参考文献:

References:

- [1] JTG/T B05-2004, 公路项目安全性评价指南[S].
- [2] JTG D20-2006, 公路路线设计规范[S].
- [3] Ismail K, Sayed T. New algorithm for calculating 3D available sight distance[J]. Journal Transportation Engineering, 2007, 133(10): 572-581.

(下转第62页)

- [2] 贺拴海. 桥梁结构理论与计算方法[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
- [3] Shih T C, Jiang Z G. Analysis of cantilever decks of thin-walled box girder bridge[J]. Journal of Structure Engineering, 1990, 116(9): 2 410-2 418.
- [4] 张 岗, 王新敏, 贺拴海. 混凝土箱梁悬臂板空间数值仿真[J]. 武汉理工大学学报: 交通科学与工程版, 2007, 31(3): 434-437.
ZHANG Gang, WANG Xin-min, HE Shuan-hai. Space numeric simulation of concrete box bridge cantilever plate[J]. Journal of Wuhan University of Technology: Transportation Science and Engineering, 2007, 31(3): 434-437.
- [5] 徐 伟, 李 智, 张肖宁. 子模型法在大跨径斜拉桥桥面结构分析中的应用[J]. 土木工程学报, 2004, 37(6): 30-34.
XU Wei, LI Zhi, ZHANG Xiao-ning. Application of sub-modeling method for analysis for deck structure of diagonal cable-stayed bridge with long span[J]. China Civil Engineering Journal, 2004, 37(6): 30-34.
- [6] 徐 岳, 朱万勇, 杨 岳. 波形钢腹板 PC 组合箱梁桥抗弯承载力计算[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2005, 25(2): 60-64.
XU Yue, ZHU Wan-yong, YANG Yue. Calculation of ultimate moment capacity of prestressed concrete box-girder bridge with corrugated steel webs[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2005, 25(2): 60-64.
- [7] 周绪红, 吕忠达, 狄 谨, 等. 大跨径简支连续箱梁桥的线形观测与控制[J]. 中国公路学报, 2007, 20(3): 54-59.
ZHOU Xu-hong, LÜ Zhong-da, DI Jin, et al. Line shape observation and control of simple-supported-to-continuous long-span box girder bridges [J]. China Journal of Highway and Transport, 2007, 20(3): 54-59.
- [8] 谢素超, 田红旗, 姚 松. 板梁偏心连接结构有限元分析[J]. 交通运输工程学报, 2006, 6(4): 5-9.
XIE Su-chao, TIAN Hong-qi, YAO Song. Finite element analysis of composite structure of eccentric beam and plate [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2006, 6(4): 5-9.
- [9] 彭友松, 强士中. 公路混凝土箱梁三维温度应力计算方法[J]. 交通运输工程学报, 2007, 7(1): 63-67.
PENG You-song, QIANG Shi-zhong. 3-D thermal stress computation method of highway concrete box-girder[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2007, 7(1): 63-67.
- [10] 徐秀丽, 王曙光, 刘伟庆, 等. 薄壁箱梁截面抗扭参数的简化计算方法[J]. 中国公路学报, 2007, 20(3): 72-76.
XU Xiu-li, WANG Shu-guang, LIU Wei-qing, et al. Simplified calculation method for torsion parameters of thin-walled box girder section[J]. China Journal of Highway and Transport, 2007, 20(3): 72-76.

~~~~~  
(上接第 47 页)

- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 刘 江. 视距自动计算在仿真系统中的实现[J]. 北京工业大学学报, 2006, 32(11): 1 011-1 016.  
LIU Jiang. Realization of sight distance's automatic calculation in simulation system [J]. Journal of Beijing University of Technology, 2006, 32(11): 1 011-1 016.
- [9] 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.
- [10] 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.