

公路行车视距检验的三维表面模型方法^{*}

王福建 曾学贵
(北方交通大学 北京 100044)

摘要 提出公路行车视距检验的三维表面模型方法,即采用三角网式模型表示复杂多变的公路设计表面,通过检验司机视线与该模型是否相交而得到司机在任一桩位 P 处公路所能提供和保证的视距 L ,绘出视距沿线分布图 $L-P$,及时发现影响行车视距的不利因素,以便改进设计。

关键词 公路 行车视距 三维表面模型

3D Surface Model Method for Highway Sight Distance Test

Wang Fujian
(Northern Jiaotong University, Beijing)

Abstract A 3D surface model method for highway sight distance test is presented. The highway design surface is represented by triangular network model; the sight distance L which can be guaranteed by the highway at an arbitrary stake P can be obtained by judging the intersection between driver's sight line and the model, then the diagram $L-P$ can be drawn to find out unfavourable influence on sight distance so as to improve highway design.

Key words Highway Sight distance 3D surface model

0 前言

行车视距是否充分,直接关系着行车的安全与迅速,它是分析和评价公路设计和使用质量的重要指标之一^[1~3]。目前进行公路路线设计时,行车视距是在平面线形和纵面线形两个方面分别予以考虑的:(1)在平曲线内侧绘制视距包络线即视距曲线,清除弯道内侧有关障碍物以保证视距(当挖方边坡妨碍视线时,据此开挖视距台);(2)竖曲线半径的选定必须满足视距要求。然而,公路是由平、纵、横三方面组合而成的不规则的复杂多变的三维空间形体,平、纵、横三方面将对视距产生综合影响,例如在三维空间中,路面、边坡、挡墙等有可能遮挡司机视线而影响视距。如图1所示某公路填方路段,位于 A 点的司机通过视线 AB 看到前方的 B 点,当 B 点较高时,视线 AB 可能与路面及边坡相交于 C 和 D 点,换言之,视线 AB 被路面及边坡遮挡了,位于低处 A 点

的司机看不到位于高处 B 点的障碍物。若 A 、 B 间路线长度 L 小于所要求的行车视距 S ,则该路段不能保证视距而影响行车安全。由此可知,为保证行车安全,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,分析平、纵、横三方面的综合影响,发现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、横设计,确保满足视距要求。为此,本文首先建立公路设计表面的三角网式空间模型,据此探讨行车视距检验方法,绘制行车视距沿线分布图,以便设计人员清楚而直观地分析视距,为调

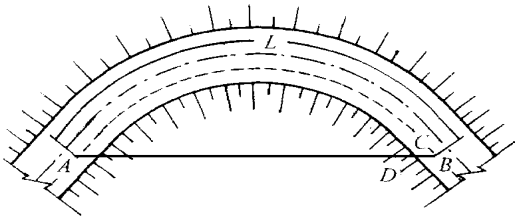


图1 某公路填方路段平面示意图

^{*} 国家自然科学基金资助项目 59808002
收稿日期 1998-05-07 第一作者 男, 1969 年生, 博士后

整路线平、纵、横设计提供依据, 或为设置路标如“禁止超车”等提供依据。

1 公路设计表面三角网式模型

公路设计表面包括中央分隔带、路缘带、行车道、路肩、边坡表面、人工构造物外表面(包括挡土墙、护肩、护脚等)等, 是较复杂的三维空间曲面。借鉴三角网式数字地面模型(DTM)表示地形曲面的原理和方法, 本文对公路设计表面也建立三角网式表面模型, 即把两相邻横断面间的公路表面划分成若干相连的三角形平面, 如图2所示, 这样整条路线或

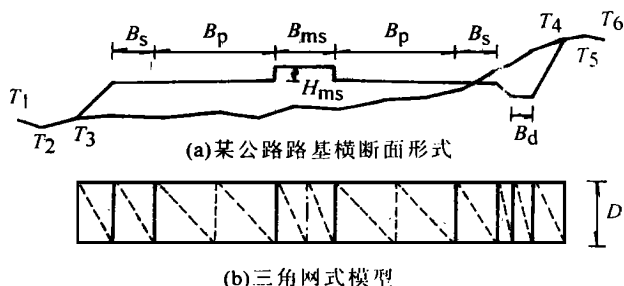


图2 公路设计表面三角网式模型示意图

其中某一路段的设计表面就可表示成三角网模型。图2中 B_{ms} 和 H_{ms} 分别为中央分隔带宽度和高度(当设有中央分隔带时); B_p 为行车道路面宽度(当设有加宽时, 包括加宽); B_s 为路肩宽度; B_d 为挖方边沟底宽。当图2(a)中具有人工构造物时, 其外表面亦可按图2(b)那样进行三角形划分。当考虑图2(a)填挖方边坡以外地表面 $T_1 \sim T_3$ 和 $T_4 \sim T_6$ 对视距的影响时, 亦可建立该地表面的三角网模型并增加到图2(b)所示模型中。当图2(a)中央分隔带及路肩上设有护栏并可能影响视距时, 可根据护栏形式建立其三角网式表面模型并增加到图2(b)所示模型中。显然, 正如三角网式数字地面模型是对地形曲面的近似表示那样, 图2(b)所示三角网模型也是对公路设计表面的近似表示, 图2中两横断面桩距 D 愈小, 三角形划分愈密, 三角网模型愈逼近真实的公路设计表面, 即精度愈高。

2 直线段与空间三角形平面的相交计算

如图3所示, abc 为一个空间三角形平面, 该平面一般方程为^[4]

$$A \cdot x + B \cdot y + C \cdot z + D = 0 \quad (1)$$

其中 $\vec{n} = \{A, B, C\}$ 为该平面的法向量。由该三角形三个顶点 $a(X_a, Y_a, Z_a)$ 、 $b(X_b, Y_b, Z_b)$ 和 $c(X_c, Y_c, Z_c)$, 系数 A 、 B 、 C 和 D 为

$$\begin{cases} A = \begin{vmatrix} Y_a & Z_a & 1 \\ Y_b & Z_b & 1 \\ Y_c & Z_c & 1 \end{vmatrix} & B = - \begin{vmatrix} X_a & Z_a & 1 \\ X_b & Z_b & 1 \\ X_c & Z_c & 1 \end{vmatrix} \\ C = \begin{vmatrix} X_a & Y_a & 1 \\ X_b & Y_b & 1 \\ X_c & Y_c & 1 \end{vmatrix} & D = - \begin{vmatrix} X_a & Y_a & Z_a \\ X_b & Y_b & Z_b \\ X_c & Y_c & Z_c \end{vmatrix} \end{cases} \quad (2)$$

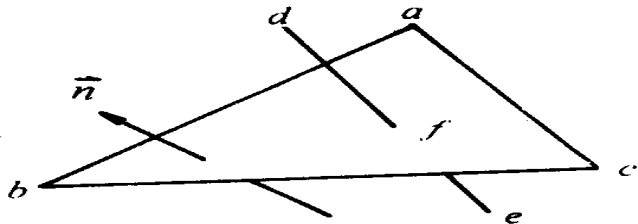


图3 直线段 de 与三角形平面 abc 相交

当图3中空间直线段 de 的两端点 $d(X_d, Y_d, Z_d)$ 和 $e(X_e, Y_e, Z_e)$ 满足式(3)时, 则该两端点在平面 abc 的同侧

$$(A \cdot X_d + B \cdot Y_d + C \cdot Z_d + D) \cdot (A \cdot X_e + B \cdot Y_e + C \cdot Z_e + D) \geq 0 \quad (3)$$

向量 $\vec{de}$ 与法向量 $\vec{n}$ 垂直即数量积 $\vec{de} \cdot \vec{n} = 0$ 时向量 $\vec{de}$ 与平面 abc 平行。当直线段 de 不平行于平面 abc 又不满足式(3)即 d 、 e 在平面 abc 异侧时则 de 与平面 abc 相交于一点 $f(X_f, Y_f, Z_f)$

$$\begin{cases} X_f = X_d - t \cdot X_{de} \\ Y_f = Y_d - t \cdot Y_{de} \\ Z_f = Z_d - t \cdot Z_{de} \end{cases} \quad (4)$$

其中 $t = (A \cdot X_d + B \cdot Y_d + C \cdot Z_d + D) / (A \cdot X_{de} + B \cdot Y_{de} + C \cdot Z_{de})$, $X_{de} = X_e - X_d$, $Y_{de} = Y_e - Y_d$, $Z_{de} = Z_e - Z_d$ 。当所得交点 f 在平面 abc 边界内时才为有效交点。判定 f 是否在平面 abc 边界内可采用点是否在封闭多边形内的铅垂线算法^[5]。由此, 本文称直线段 de 与三角形平面 abc 相交, 是指交点 f 为有效交点。

3 行车视距检验方法

1. 图1中司机眼睛 A 点位置。如图1所示无中央分隔带的一般公路, 司机位置 A 点距未加宽前路面边缘1.5m, 司机眼高为1.2m^[1~3], 汽车行驶轨迹如图1中虚线所示。对于有中央分隔带并有多条行车道的高速公路和一级公路等高等级公路, 可对每个行车道检验视距。

2. 图1中观察对象 B 点位置。 B 点位置取决于要检验的是停车视距、会车视距还是超车视距。当检验停车视距时, B 点障碍物位于图1虚线所示汽车行

驶轨迹上, 距路面高度为物高 $0.1\text{m}^{[1\sim3]}$ 。当检验会车视距时, B 点处对向行驶的汽车位于图 1 虚线所示汽车行驶轨迹上, B 点距路面高度为司机眼高 1.2m 。当检验超车视距时, B 点处对向行驶的汽车位于对向车道的汽车行驶轨迹上 (即在对向车道上距未加宽前路面边缘 1.5m 处), B 点距路面高度为司机眼高 1.2m 。对于有中央分隔带的公路则只检验停车视距。

3. 行车视距检验。如图 1 所示, 设司机位置 A 点位于桩号 P_a 处, 以一定步长 T 向前进方向确定观察对象 B 点位置, 即 B 点桩号 $P_b = P_a + T$ (P_b 初值为 P_a), 由 P_a 和 P_b 计算出司机眼睛所在位置 A 点的三维坐标 $A(X_a, Y_a, Z_a)$ 及观察对象所在位置 B 点的三维坐标 $B(X_b, Y_b, Z_b)$, 由上述直线段与空间三角形平面的相交计算方法可判定空间直线段 AB 是否与公路表面三角网式模型相交, 有如下两种情况: (1) 若相交, 则 AB 间路线长度 $L = P_b - P_a - T$, 即为司机在 A 点时公路所能提供和保证的视距。显然, 若 L 小于所要求的行车视距 S , 则说明该路段不能满足视距要求。(2) 若不相交, 重复上述检验计算过程直至发生相交或 $L = P_b - P_a \geq S$ 时为止。若 $L \geq S$ 则说明满足视距要求。显然, 步长 T 愈小, 视距检验精度愈高。

由上述方法可得到司机位置 A 点位于任一桩号 P_a 处时公路所能提供和保证的视距 L , 绘制如图 4 所示的视距分布图, 以便清楚而直观地判断出不能满足视距要求的路段 (如图 4 中 CD 段和 EF 段), 并结合平、纵、横设计资料分析影响视距的原因, 以改进设计。图 4 中 P_0 和 P_1 分别为整个路线或某一路段的起止桩号, S 为所要求的行车视距。图 4 为从 P_0 向 P_1 行驶时的视距分布图, 同理可得从 P_1 向 P_0 行驶时的视距分布图, 即 $P_0 \rightarrow P_1$ 和 $P_1 \rightarrow P_0$ 两个行驶方向的行车视距都可得以检验。

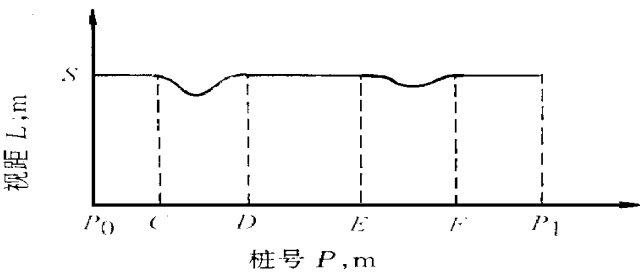


图 4 行车视距沿线分布图

需要说明的是, 图 2 为公路填挖方路基设计表面三角网式模型。当然, 公路上也分布着正、弯、坡、斜等各种形式的桥梁及其它跨线桥, 当需检验和分析这些桥梁及其上所设栏杆或护栏对行车视距产生的影响时, 亦可根据图 2 所示方法由桥梁设计资料构建桥梁的三角网式表面模型, 按上述方法检验行车视距, 这里不再赘述。

4 结束语

本文采用三角网式模型表示复杂多变的公路设计表面, 行车视距检验归结为司机视线与该三角网式模型中所有三角形平面的相交判别, 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, 以便及时发现影响行车视距的不利因素, 进而调整和改进路线设计。因此, 进一步探讨三维空间中公路设计、计算、分析和评价等方法将具有重要的理论和实用意义。

参考文献

- 1 中华人民共和国交通部. 公路路线设计规范 (JTJ011-94). 北京: 人民交通出版社, 1994
- 2 张雨化编著. 公路勘测设计. 北京: 人民交通出版社, 1986
- 3 张廷楷等编著. 道路路线设计. 上海: 同济大学出版社, 1990
- 4 [美] James D Foley, Andries Van Dam 著. 唐泽圣, 周嘉玉等译. 交互式计算机图形学基础. 北京: 清华大学出版社, 1986
- 5 黄杏元, 汤勤编著. 地理信息系统概论. 北京: 高等教育出版社, 1989