

导览车 AFS 偏转规律的研究

程张良¹ 邹锐锐¹ 葛晓宏^{1,2}

(1.厦门大学物理与机电学院机电系, 福建 厦门 361005; 2.厦门理工学院, 福建 厦门 361024)

摘要:自适应前照明系统(Adaptive Front-Lighting Systems,以下简称 AFS),是一种能在各种环境下,给出最佳照明方式的智能前照灯系统,为夜间驾驶员的安全驾驶提供了有力保障。通过对金厦电动导览车 AFS 的数学建模和分析,依据导览车的自身参数和特点来研究导览车 AFS 的偏转规律,并着重分析导览车悬架对其 AFS 偏转规律的影响。

关键词:导览车; AFS; 前照灯; 偏转规律

中图分类号: U463.65 文献标识码: A 文章编号: 1672-4801(2013)01-103-03

AFS 是一种与行车安全相关的主动式安全系统,同时也是车灯照明领域的最新技术之一。随着经济的快速发展,民众的生活水平不断提高,汽车作为现代社会的代步工具也获得了飞速的发展。有关部门统计数据表明,在中国有 25% 的交通事故都发生在夜晚或者光线不足的情况下,其中 50% 的伤亡事故都发生在夜间。近年来我国每年因道路交通事故死亡的人数近 10 万,道路交通事故已成为人类的第五大杀手^[1]。在欧洲,每年约有 55 000 人死于交通事故,其中 55% 的死亡事故发生在夜间;夜间的行车量占总车量的 25%,但交通事故却占总交通事故数量的 47%^[2,3]。通过对这些交通事故的统计分析发现,道路照明条件差是造成事故的重要原因之一,因此对汽车头灯照明效果的研究具有相当重要的现实意义。金厦电动导览车(型号规格是 GD11-XMUT)是厦门理工学院和台湾铭传大学联合研制的电动导览车。导览车的大小、轴距和悬架参数与客车、轿车有所不同。在轿车上前悬相对较小,客车前悬相对较大,而导览车介于两者之间。因此在对导览车 AFS 的偏转规律分析时要慎重考虑悬架的影响。

1 导览车 AFS 偏转模型与分析

由于导览车的前悬介于客车与轿车之间,所以本文先考虑有前悬参数的基础上,在实现前照灯随动转向时,选择方向盘转角 ρ 、瞬时速度^[4] v 、俯仰角 φ 和侧倾角 θ 作为输入信号,暂不考虑其他特殊环境的影响,采用上下和左右方向旋转的方式来控制导览车前照灯,在弯道照明时应当保证照射区域满足行车安全这一控制策略的基础上来分析导览车 AFS 的偏转规律。

1.1 理想的转弯模型

首先假设导览车车体是刚性的,车轮也是刚性的,在转弯时不与路面产生相对滑移,转弯路面平整,车身不倾斜不颠簸等。金厦电动导览车的转向稳定特性是中性转向,有别于客车上采用的不足转向特性,因此导览车驾驶员的方向盘转弯半径 R' 与实际转弯半径 R 相等。另外此导览车满载时最大行驶速度为 33.4 km/h,空载时最大行驶速度为 35.3 km/h,并且导览车的设计使用环境都与城市路况非常接近。参考欧洲 ECE 相关法规及相关文献,导览车用 AFS 在转弯时满足基本的前进照明和增加弯道内侧的照明效果即可。很多相关文献都是以光束中心线与车轮或车身转向轨迹的关系来确定头灯转角的方案。事实上,这样计算得出的方案所产生的头灯转角在多数情况下都要大于车灯的极限转角,是不容易实现的。本文以导览车前照灯的强光束边线与车身实际转弯轨迹的关系,和将导览车运动状态划分为水平和竖直两平面来分析此型导览车转弯时的 AFS 偏转规律。导览车前照灯采用左右同样角度异向相反的控制策略,即右转时,左前照灯固定向前,右前照灯向右偏转,因此,导览车灯在右转弯时只分析右前照灯的偏转情况,图 1 为右转的理想转弯模型,左转弯同理。

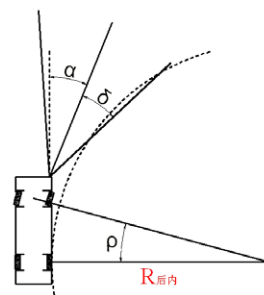


图 1 理想状态下的水平转角模型

作者简介:程张良(1986-),硕士研究生,研究方向:汽车电子、汽车安全及机械设计。

$$\alpha = \arctan\left(\frac{R_{后内} + W_{右灯} - R_{后内} \cos \frac{S_{制动} + S(t)}{R_{后内}}}{R_{后内} \sin \frac{S_{制动} + S(t)}{R_{后内}} - L - L_{右灯}}\right) - \delta \quad (1)$$

$$R_{后内} = \sqrt{\left(\frac{L}{\sin K\rho}\right)^2 - L^2 - W_{后右}} \quad (2)$$

式中： α ——车灯理想水平偏转角；

L ——轴距，mm；

$R_{后内}$ ——右后轮外侧的转弯半径，mm；

K ——方向盘减速比；

$W_{后右}$ ——后轴中心至外侧的水平距离，mm；

$W_{右灯}$ ——右灯心与右后轮外侧在水平面上的侧向距离，mm；

$S_{制动}$ ——导览车的制动距离，mm；

$S(t)$ ——驾驶员的反应时间所产生的路程，mm；

$L_{右灯}$ ——前轴与灯心的水平距离，mm；

δ ——前照灯的光束中心线与强光束边线的夹角；

ρ ——方向盘转角。

1.2 导览车 AFS 俯仰和侧倾模型

现实中，导览车不可能一直在光滑平整的路面上行驶，或多或少的会遇到崎岖不平，有些坑坑洼洼的路面，加上自身悬架的柔性，这些都使得导览车的运动状态偏离了理想状态。因此，对其进行非理想状态的研究也显得很有必要。由于车身悬架的存在，在转弯过程中，导览车因受到离心力的作用，车身会有一些的侧倾，其侧倾模型如图 3 所示；在崎岖不平的道路上行驶，车速时快时慢行驶和制动时车身都会俯仰，其俯仰模型如图 2 所示。从本质上来说，无论导览车在什么样的环境下以何种状态行驶，其任意状态都可以分解成水平方向和竖直方向的运动。图 2 和图 3 是对模型进行竖直方向的分解和分析。

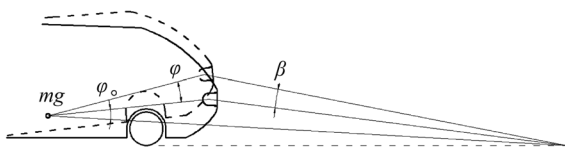


图 2 车身俯仰模型

俯仰补偿角 β 与车身俯仰角增量 φ 的关系如下：

$$\beta = \arctan \frac{L_3 \sin(\varphi + \varphi_0)}{L_4 - L_3 \cos(\varphi + \varphi_0)} - \arctan \frac{L_3 \sin \varphi_0}{L_4 - L_3 \cos \varphi_0} \quad (3)$$

式中， β ——车身俯仰时的角度补偿量；

L_3 ——竖直平面内导览车质心到右前灯旋转中心的正向距离，mm；

L_4 ——质心与安全距离点的距离，mm；

φ_0 —— L_3 与 L_4 的夹角；

φ ——车身俯仰时的角度增量。

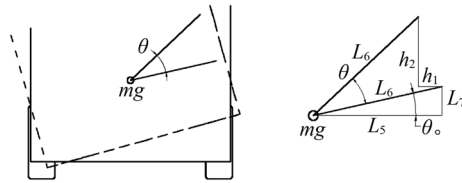


图 3 侧倾运动模型

水平偏移量 h_1 和对应的水平补偿角 $\gamma_{水}$ ：

$$h_1 = L_5 - L_6 \cos(\theta + \theta_0) \quad (4)$$

$$\gamma_{水} = \arctan \frac{h_1 + L_8}{L_9} - \arctan \frac{L_8}{L_9} \quad (5)$$

垂直偏移量 h_2 和对应的垂直补偿角 $\gamma_{垂}$ ：

$$h_2 = L_6 \sin(\theta + \theta_0) - L_7 \quad (6)$$

$$\gamma_{垂} = \arctan \frac{h_2 + L_{10}}{L_{11}} - \arctan \frac{L_{10}}{L_{11}} \quad (7)$$

式中， h_1 ——右前灯心的水平偏移量，mm；

h_2 ——右前灯心垂直偏移量，mm；

L_5 ——竖直平面内质心到车灯（旋转中）心的水平距离，mm；

L_6 ——竖直平面内质心到车灯心的距离，mm；

L_7 ——竖直平面内质心到灯心的垂直距离，mm；

L_8 ——水平面内灯心到安全偏转点的侧向距离，mm；

L_9 ——水平面内灯心到安全偏转点的正向距离，mm；

L_{10} ——灯心到地面的垂直距离，mm；

L_{11} ——竖直平面内灯心到安全偏转点的距离，mm；

θ ——车身侧倾角；

θ_0 ——竖直平面内质心到灯心的距离与 L_5 的夹角，为初始俯仰角。

2 导览车 AFS 的偏转规律

导览车在转弯工况下的实际转弯状态是由理想状态、非理想状态组合而成的，其 AFS 规律也同样由二者复合而成。因此，其 AFS 需要偏转的角度也是由这水平理想状态、俯仰状态和侧倾状态共同决定的。将式(1)~式(7)代入导览车的相关

参数，其中 $S(t)=vt$ ，驾驶员反应到踩制动时间取 $t=1.5\text{ s}$ 。将表达式带入 MATLAB 中得到图 4~图 7。其中，方向盘转角 ρ ，俯仰角 φ 和侧倾角 θ 是均已弧度为单位表示；为了与其他参数统一和便于分析，统一使用 mm 来度量，瞬时速度 v 单位为 mm/s。

导览车 AFS 实际水平偏转角度为 $\alpha'=\alpha+\gamma_{\text{水}}$ ，从图 4 中，可以看出在 ρ 和 v 都很大时， α 变化很大。当 α 到一定角度的时候，图形塌陷了。因为此时理想水平转角已经超过了 $\pi/2$ 的临界点，与实际不符，但可以作为后期制定 AFS 控制策略的参考。若是将方向盘转角设置一个合理的取值区间，那么理想水平转角图就可以避免塌陷，最终得到一个完美的水平转角关系图。从图 5 中，可以看出 θ 的大小变化并没有引起 $\gamma_{\text{水}}$ 明显变化； v 逐渐增大时，水平补偿角也随之变小。但是，总体变化量相对于理想状态下的变化量并不是很明显，可以忽略不计，即 $\alpha'=\alpha$ 。不过，对于电路控制部分的控制量大小的选取具有重要的参考意义。

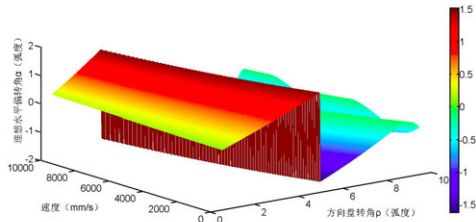


图 4 理想状态下的导览车水平转角关系图

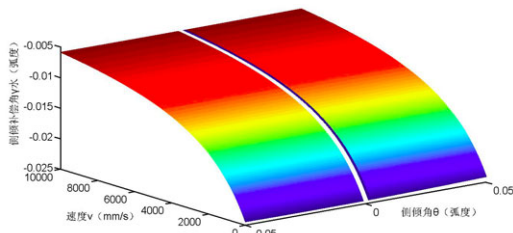


图 5 侧倾状态下的水平角度补偿图

导览车 AFS 实际垂直补偿角度为 $\beta'=\beta+\gamma_{\text{垂}}$ 。在俯仰补偿关系图 6 中，可以看出随着俯仰角的增大，俯仰补偿角也在相应地增大，几乎呈线性

关系。如果 β 最取到 0.037 (约 2.12°)时，此时 AFS 垂直方向的角度需不需要调整就要看此型车的悬架刚度和使用环境了。图 7 可以看出由侧倾引起的垂直方向上的 $\gamma_{\text{垂}}$ 变化也几乎是线性的，但即使 $\gamma_{\text{垂}}$ 取到最大值，相对于 β 也是不明显的，可以忽略不计，即 $\beta'=\beta$ 。不过，同样对后期控制策略的取值具有重要的参考意义。

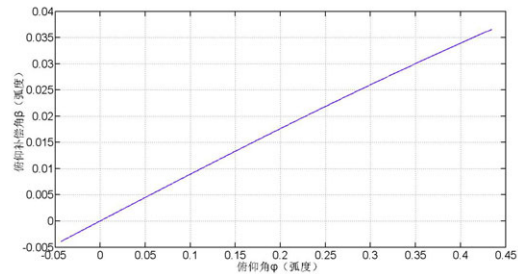


图 6 俯仰补偿关系图

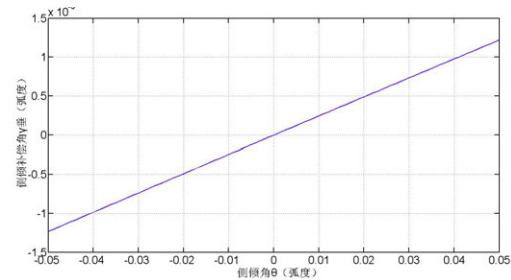


图 7 侧倾引起的垂直角度补偿关系图

3 结论

本文针对金厦 GD11-XMUT 型导览车研究其 AFS 的偏转规律，提出了相关模型，并利用 MATLAB 软件绘制出相关参数曲线或曲面关系图。从 MATLAB 中得到的关系图表明：此型导览车的由侧倾运动引起角度补偿量很小，可以忽略不计；由俯仰运动引起的 β 大小变化虽然不是非常明显，但也不能随意忽略，需要根据悬架刚度和使用环境来决定。但是无论是否忽略这些角度的补偿量，后期的 AFS 控制电路部分的控制策略制定和离散取值都需要这些计算结果做参考，来进一步缩小 AFS 误差，从而做出极致的导览车 AFS。

参考文献：

[1] 占强.让车灯没有死角——福特全新 AFS 智能型主动转向头灯技术[J].世界汽车,2006(4):74-75.
 [2] 林坦,戴广超,李新伟.自适应前照灯系统(AFS)应用及发展趋势[J].汽车节能,2010(3):18-22.
 [3] B. Rudolf, J. Schmidt, M. Grimm, et al. INTEGRATION OF AFS-FUNCTIONALITY INTO DRIVING SIMULATORS[J]. DSC, 2004, 155-165.
 [4] 房旭,姚勇.智能汽车前照灯系统(AFS)研究[J].汽车技术学报,2006(4):17-20.