

文章编号: 1002-0268 (2009) 06-0123-06

车辆三维轮廓的光栅投影测量技术研究

王兴宇, 苏 建, 张立斌
(吉林大学 交通学院, 吉林 长春 130025)

摘要: 针对车辆外观三维轮廓测量的技术特点, 提出了用光栅投影测量的方法来研究车辆三维轮廓尺寸的测量, 以开发相应的测量系统。对该系统的组成及测量原理进行了详细论述, 并对大型光栅的投影测量方法及三维投影轮廓的重建方法进行了研究, 以此来实现车辆三维投影轮廓及特征尺寸的测量。试验结果表明, 光栅投影测量技术可以应用于车辆外观三维轮廓的测量当中, 从而实现车辆外廓尺寸的快速、准确及非接触式的测量。

关键词: 汽车工程; 轮廓识别; 光栅测量; 车辆尺寸

中图分类号: U467.5

文献标识码: A

Research on Grating Projection Measuring Technology for Vehicle 3D Profile

WANG Xingyu, SU Jian, ZHANG Libin
(School of Transportation, Jilin University, Changchun Jilin 130025, China)

Abstract: Aimed at the technical features of vehicle 3D profile measurement, a grating projection measuring method was introduced to research the dimensions of vehicle 3D profile for developing the corresponding measuring system. A detailed discussion about construction of the system and measuring principle was made, 3D projection profile and measurement of feature sizes were realized with the research on projective measuring method of large scale grating as well as the method of 3D profile reconstruction. Experimental results show that the grating projection measuring technology can be applied to the vehicle 3D profile measurement so as to realize the vehicle-body dimensions be measured quickly, accurately and non-contact based on the grating projection measuring technique.

Key words: automobile engineering; profile recognition; grating measurement; vehicle dimension

0 引言

在道路运输中, 经常出现车辆的非法改装及超长、超宽、超高、大吨小标等现象, 这是车主为了追求自身利益的一种不法行为, 车辆的超限运输往往直接导致超载现象, 致使车辆的机动性变差, 容易引发道路交通事故和道路设施的早期损坏等问题, 严重影响人民生命和财产安全。《道路车辆外廓尺寸、轴荷及质量限值》(GB1589-2004) 是治理车辆超限超载的国家强制性标准, 明确规定了货物运输车辆的极限尺寸, 《道路交通安全法实施条例》规定严禁超限, 载物的长、宽、高尺寸不得违反装载要求。《营运车辆

综合性能要求和检验方法》(GB18565-2001) 整车整备检测项目中也要求车辆的结构不得任意改造。多年来, 国内对于车辆三维轮廓的测量, 大多数的方法仍是在车辆处于静止状态下, 通过人工借助卷尺、角度尺、标杆等方法进行的干预测量, 这些测量方式效率低, 人为误差大, 不能满足现代化检测的要求, 工业上使用的三坐标测量机、轮廓仪等结构复杂, 对测量条件要求苛刻, 测量时间长, 价格昂贵, 不利于实际应用和推广^[1-7]。

本文从光栅投影测量法这个崭新的角度出发, 对车辆三维特征轮廓识别的方法进行了研究, 将获得的尺寸数据进行空间三维轮廓的重建, 得到了较理想的

收稿日期: 2008-01-07

基金项目: 吉林大学国家“211 工程”建设基金资助项目 (2000-033)

作者简介: 王兴宇 (1980-), 男, 吉林长春人, 博士研究生, 研究方向为汽车智能化检测与诊断。 (makleewxy @163.com)

测量结果,对交管部门针对超载、超限和非法改装车辆的鉴定提供了技术支持。

1 三维投影测量系统的组成

投影测量通俗的说就是利用投影技术摄取物体的影像特征,从而识别此物体,并测求其形状和位置。本文提出的测量系统中,通过光栅门架的数百个光电开关和激光测距装置配合使用,并结合PC机平台和测控软件系统,将光栅投影原理、三维投影重建理论与实际的检测任务联系起来,构成了车辆投影轮廓的测量系统,以实现车辆三维投影轮廓及其尺寸的智能化测量。

1.1 系统整体结构

本系统主要包括:1—激光测距装置、2—工业计算机、3—被测车辆、4—光栅测量架、5—打印输出设备及6—信号采集电路,如图1所示。由于车辆外廓尺寸的测量具有量程大、轮廓复杂等特点,因此测量系统中光栅架的测量区域要能够满足各种营运车辆的正常通过。通过伺服电机,激光测距装置可根据被检车辆的存在状态自动地进行收放。本系统可测量车辆的二维投影轮廓、三维投影轮廓以及车身的最大长度、最大高度、最大宽度及轴距等尺寸参数。

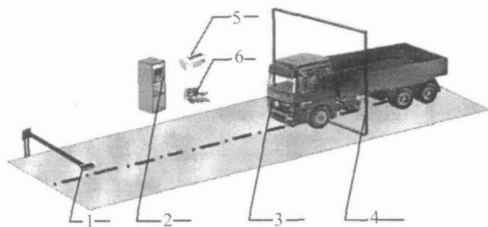


图1 检测系统示意图

Fig 1 Schematic diagram of testing system

1.2 光栅测量架的结构

系统中的投影光栅测量架如图2所示,其中测量区域的光线分为水平光线和垂直光线,分别用来测量车身高度和宽度方向的尺寸,光线区域为 $4\,800 \times 4\,000\text{ mm}$ 。为了使系统能更好地识别复杂的车体轮廓,光栅架的光线发射器和光敏三极管的布置就要尽可能的紧密,光线间隔 10 mm 且光线的收/发端要一一对应,系统光栅架的光线共880条,检测精度为 $\pm 10\text{ mm}$ 。对于光线发射器的选择要充分考虑到价格和寿命等方面,本系统采用了方便购买的红光激光指示器,将其内部发光机芯取出安装在光栅架上,并配以 $+5\text{ V}$ 电源即可实现一条光线的光源。

1.3 信号采集电路

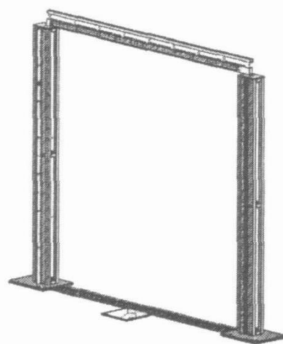


图2 光栅测量架

Fig 2 Gantry of raster measurement

信号采集电路的功能是将光敏管输出的电信号进行采集、处理、存储并传入计算机,对检测结果的准确性和可靠性起着至关重要的作用。考虑到系统输出信号端口较多的特点,若采用并行I/O卡作为信号采集单元,必然会加大硬件的投入,同时也降低了系统的可靠度,因此,系统开发了一套独立的信号采集处理电路,将光栅的多路信号串行输出至工控机,其中激光测距仪的测量数据通过串行口传入单片机,经过软件处理后输出光栅采样时序,从而进行光切(断层)信号的采集,其电路结构如图3所示。两组光电开关安装于光栅架上,用以判断车身是否驶入或驶出检测区域,同时也决定着单片机的工作状态。另外,系统采用了FRAM256铁电外部存储器,这样的设计不仅减轻了单片机的存储负担,同时也保证了传入计算机的数据更合理有效。

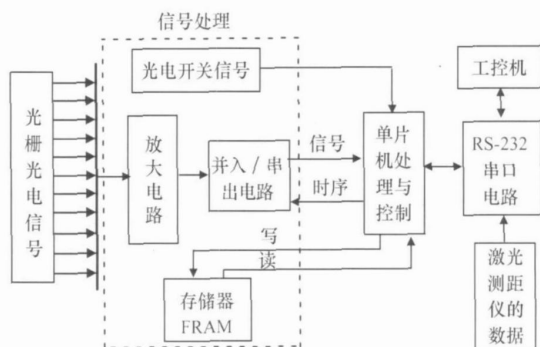


图3 信号采集电路原理图

Fig 3 Principle diagram of signal collecting circuit

2 系统测量原理

目前,对于三维物体重建的方法基本上都是由正交投影生成三视图,由三视图重建三维物体^[8],还有一种广泛采用的3D投影的重建算法称为双目摄像重建算法,这种方法需要2个摄像机在不同的方位拍摄

图像再由拍摄到的2张2D图像重建3D物体^[9-10],同时对光照条件要求苛刻,而且算法复杂。本文提出的车辆三维轮廓测量技术是利用光栅投影原理进行物体特征轮廓测量的简化方法,这种方法处理速度快、算法简单,不易受自然条件影响。

2.1 三维特征尺寸的测量及投影轮廓的重建

对于车辆外廓尺寸的测量,我们最为关心的是车辆的最大尺寸和特征轮廓,因此,只要获得车辆投影的特征轮廓,并把光栅理解为平面坐标,就可以很容易地获得车辆的尺寸参数及特征轮廓。

2.1.1 三维特征尺寸的采集

假设汽车以垂直于光栅平面的方向驶入检测区域,其中网格线表示的是光栅的光线, λ 表示光线间距,则在某一投影信号的采样时刻,由于车身将检测信号线(光线)遮挡,接收端光敏管的状态将发生变化。在此时刻,当车体的左侧边缘遮挡住第 N_1 条光线信号,右侧边缘遮挡住第 N_2 条光线信号,那么车体近似宽度 W_k 则表示为: $W_k = (N_2 - N_1) \times \lambda$ 。车身高度的测量与宽度的测量原理相同,即将光幕旋转 90° ,即光幕的光束水平时,同理可以得到此采样时刻的车体近似高度 H_k ,此时的 $N_1 = 0$, $H_k = N_2 \times \lambda$,图4为其特征尺寸采集的原理图。

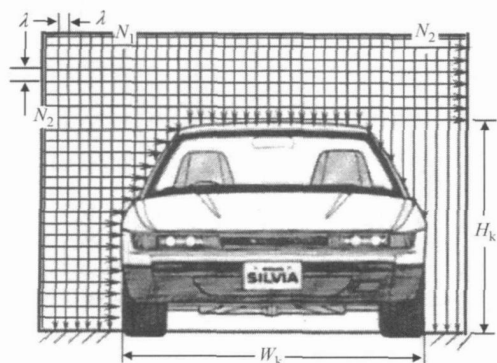


图4 特征尺寸的采集

Fig 4 Collection of the characteristic size

2.1.2 二维投影轮廓的重建

由于系统不仅要获得车辆的特征尺寸,同时也要获得车辆的投影轮廓,这样才能更好地判断出车辆整体外观。为了说明问题,本文以棱台一个侧面投影轮廓的测量为例,如图5所示。

已知光线间距为: $\lambda = Z_{k+1} - Z_k = 10 \text{ mm}$,其中 n_i 、 n_j 分别为任意时刻投影轮廓的2个特征点, H_i 为 n_i 点的纵坐标, H_j 为 n_j 点的纵坐标, Z_k 为 n_i 、 n_j 点的横坐标,因此,在长度方向 Z 的一次投影中,就会得到高度方向的2个特征坐标点 (Z_k, H_i) 、 (Z_k, H_j) ,将2个点

描绘与坐标系中,即有图5(左),当在长度方向 Z 进行 n 次投影采样后,会形成一组数据(坐标)点,即有:

$$\{(Z_1, H_{12}), (Z_1, H_{12})\} \{(Z_2, H_{21}), (Z_2, H_{22})\} \dots \{(Z_n, H_{n1}), (Z_n, H_{n2})\},$$

将这些点连接便形成一个棱台侧面的平面投影图,如图5(右)。

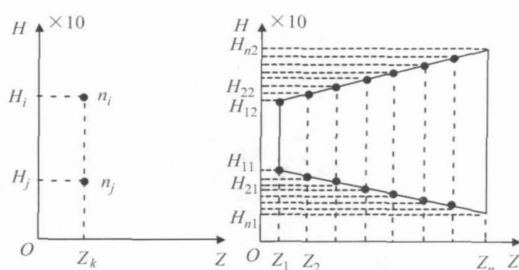


图5 二维投影轮廓的重建(单位: mm)

Fig 5 Reconstruction of 2D projection contour(unit: mm)

2.1.3 三维投影轮廓的重建

依然以此棱台为例,测试得到的数据是按时间顺序分帧存放的。为了便于统计,在数据分析中将原始数据进行了整理,对于移动的车辆,由于被测对象是运动的,将不同时刻测试到的所有断面轮廓连接在一起,可以形成被测对象的三维轮廓。那么,在一次投影信号的采样中,高度尺寸 H 可以表示为: $H = (n_j - n_i) \times \lambda$;同样宽度尺寸 W 可以表示为: $W = (n_k - n_s) \times \lambda$;当在 Z 方向进行 n 次投影采样时就会形成一个尺寸数据的数组:

$$\{[Z_1, W_1], [Z_1, H_1]\}, \{[Z_2, W_2], [Z_2, H_2]\} \dots \{[Z_n, W_n], [Z_n, H_n]\},$$

将该尺寸数组通过lab-VIEW编写的软件命令处理后,可输出该棱台的三维投影轮廓图形,如图6所示,其中图7为该测量系统PC机的内部执行程序。

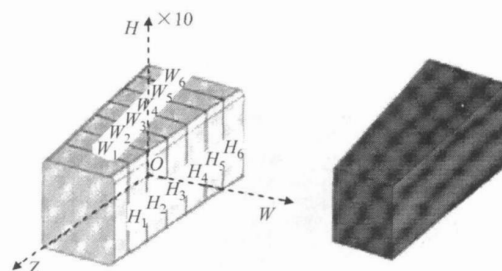


图6 三维投影轮廓的重建(单位: mm)

Fig 6 Reconstruction of 3D projection contour(unit: mm)

2.2 测量尺寸的修正

但在实际检测过程中,车辆行驶方向无法保证完全垂直于光幕平面,必然会发生一定偏转角 α ,这将对信号的采集及数据的可信度造成一定的影响,在某一

检测时刻, 汽车的行驶方向发生 α 角偏斜, 此时系统采样得到的车身宽度是 W_p , 而实际的车身宽度应为 W_k , 显然 $W_p > W_k$ 。又 $W_k = W_p \times \cos \alpha$, 所以当知道汽车此时的偏斜角度 α , 通过软件的处理便可求得理想采样条件下的车身宽度, 如图 7 所示。

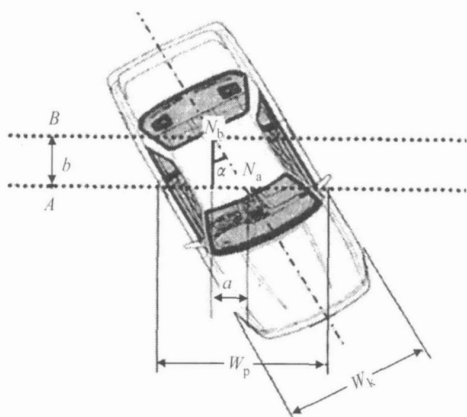


图 7 测量尺寸的修正

Fig 7 Correction of measured dimensions

为了求得 α , 需要在检测信号线方面做一下改进, 采取的办法是设置前后两排投影光栅。距离为 b , 每排光栅的信号光线一一对应且间距完全相同, 均为 $\lambda = 10 \text{ mm}$, N_a, N_b 分别为行使中线与前后两排光幕中任意一条光线的交点, 则车体沿水平方向的偏差为: $a = (N_b - N_a) \times \lambda$, 而 b 可测量获得, 因此 $\alpha = \arctan(a/b)$ 。同理, 当车体偏斜时, 由于绝大多数车辆的顶部是由不规则曲面构成, 也存在高度测量的误差, 同样可以采用这种方法加以修正, 只需采用两排测量高度的光栅架。在论文的实车测试阶段, 发现只要被测车辆正常通过检测区域, 其偏斜角度均在 $\pm 5^\circ$ 以内, 宽度及高度的测量误差在 $-5 \sim +5 \text{ mm}$ 之间, 当车辆行驶的最大偏斜角为 $\pm 20^\circ$ 时, 最大误差为 $\pm 18 \text{ mm}$, 也能够满足交通部 GB1589-2004 标准对测量误差的要求, 但 $\pm 20^\circ$ 的行驶偏斜角在实际的正常检测中是不可能出现的, 因此系统只采用一排光栅测量架即可满足要求。

2.3 车辆行驶状态对测量结果的影响

激光测距仪用以测量车身长度方向的尺寸数据, 并通过串口输出的测量值进行投影轮廓的重建, 因此, 激光测距仪输出的测量值 $L_1, L_2, L_3, \dots, L_n$ 不仅决定着车身长度及轴距的测量精度, 同时也决定着投影轮廓重建的精确度。另外, 在信号采集电路中, 由于单片机对激光测距仪的输出值是周期采样的, 因此在测试过程中, 车速的不同对测量结果的精度具有较大影响。当车速较快时, $L_1, L_2, L_3, \dots, L_n$ 间隔较大, 测量结果精度较低, 反之测量结果精度较高。

(1) 车辆匀速、直线行驶(理想情况)

$$L_1 - L_n = L, \quad (1)$$

式中, L_1 为初始时刻激光测距仪距车身后端的距离; L_n 为终止时刻激光测距仪距车身后端的距离; L 为车身总长度。

$$\Psi = \frac{L_1 - L_n}{n} = \frac{L_1 - L_n}{k \cdot \mu \cdot T}, \quad (2)$$

式中, Ψ 为光切断层间距; n 为断层采样次数; μ 为串行口波特率; k 为转换系数 ($0 < k < 1$); T 为累计测量时间(通过光电开关信号控制)。

$$L_1 - L_n = \sum (v_1 t_1 + v_2 t_2 + \dots + v_i t_i + \dots + v_n t_n) = \sum v_i (t_1 + t_2 + \dots + t_n) = v_1 T, \quad (3)$$

$$L_2 = L_1 - \Psi, L_3 = L_1 - 2\Psi, \dots, L_n = L_1 - (n-1)\Psi.$$

(2) 车辆非匀速、直线行驶(理想情况)

此时 Ψ 不定, 即存在 $L_i - L_{i+1} \neq L_j - L_{j+1} (i \neq j)$, 尽管如此, 我们仍然可以根据 $L_1, L_2, \dots, L_n$ 来重建车辆的投影轮廓和特征尺寸的测量。

(3) 车辆非匀速、非直线行驶(实际情况)

在测量过程中, 由于车身后端形状复杂, 并且驾驶员无法保证车辆完全直线行驶, 因此激光测距仪的光斑不只停留在前端外表面的某一点上, 可能入射到车身内部, 从而给长度的测量带来较大误差, 即存在 $L_i < L_{i+1}$ 的测量值。以 $L_1(t)$ 段函数为例, 在 t_1 时刻, 长度测量值发生跳变。本系统对这种情况作了程序方面的处理, 即: 记录 i 点测量值 L_i , 并依次向后寻找, 直到 $L_i - L_j \geq 0 (j > i)$ 为止, 并继续从 L_j 点进行轮廓的重建和特征尺寸参数的计算, 应用相同的方法对 $L_2(t)$ 段函数、 $L_3(t)$ 段函数进行处理。试验结果表明, 该方法获得了较为准确的测量结果。

通过后期的实车试验, 车速应控制在 $0.5 \sim 2 \text{ km/h}$ 范围内会获得较理想的测试结果。分析结果见图 8。

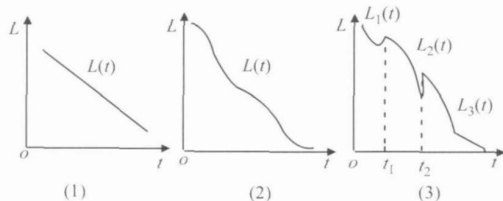


图 8 3 种情况分析

Fig 8 Analysis of three cases

3 应用实例

针对前文提到的测量方法, 笔者对此系统进行了运行试验。以解放 CA1091 型卡车为例, 测量过程中

车速约为 1.5 km/h, 其测量结果如图 9 所示。

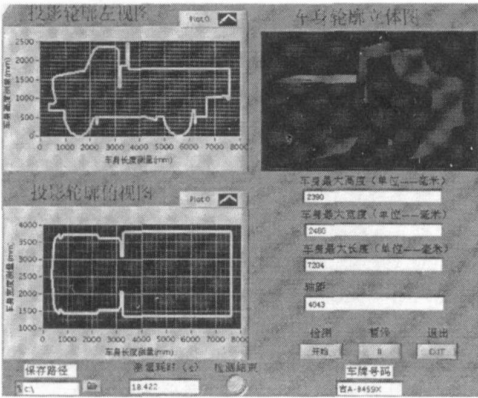


图 9 测量结果

Fig 9 Measurement result

其中车身轮廓最大高度为 2 390 mm、车身轮廓最大宽度为 2 480 mm、车身轮廓最大长度为 7 204 mm、轴距 4 043 mm, 测量耗时仅为 18.5 s。系统测试结果与被测车辆公告的尺寸参数及外观轮廓基本一致。从图 10 中的测试结果不难看出, 系统在测得特征尺寸参数的同时, 也获得了车辆的二维和三维投影轮廓

图, 这为判别车辆的超限形式提供了非常直观的技术依据。

笔者应用该系统对多种营运车型进行了测量, 由于篇幅关系, 文中仅给出了部分车型的测量据数, 如表 1 所示, 测量车速控制在 1.0~1.5 km/h, 表中数据均已四舍五入取整, 其中标准值为车型公告参考值, 人工测量值为多次测量平均值, 认为是尺寸的实际准确值, 其中绝对误差分布图如图 10 所示。通过对测量结果的分析 and 比较不难看出, 光栅投影测量与人工测量结果相近, 误差小, 测量效率高, 精度能够达到相关要求, 参照被测车型出厂的基本尺寸, 便可判断车辆是否改装、是否超限以及超限的形式。

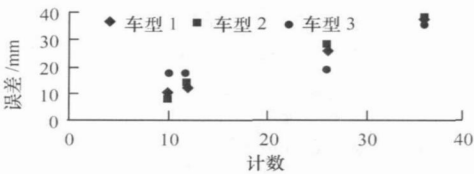


图 10 绝对误差分布

Fig 10 Absolute error distribution

表 1 光栅投影系统测量结果与人工测量结果对比 (单位: mm)

Tab 1 Comparison of results of grating projection system test with manual test (unit: mm)

车型	测量系统	车身长度	车身宽度	车身高度	轴距	
丰田 LITEAVE 小型客车	标准值	4 360	1 685	1 825	2 235	
	光栅投影测量值	1 次	4 349	1 680	1 810	2 221
		2 次	4 368	1 690	1 830	2 238
		3 次	4 337	1 700	1 820	2 232
	人工测量值	4 373	1 692	1 836	2 231	
	最大绝对误差/最大相对误差/ %	36/	12/	26/1.42	10/	
跃进 NJ131A 轻型卡车	标准值(满载)	6 050	2 076	2 169	3 308	
	光栅投影测量值	1 次	6 054	2 080	2 170	3 315
		2 次	6 031	2 090	2 160	3 308
		3 次	6 053	2 070	2 190	3 309
	人工测量值	6 069	2 083	2 162	3 306	
	最大绝对误差/最大相对误差/ %	38/	13/	28/1.30	9/	
五十铃 CVR142 重型卡车	标准值(满载)	6 545	2 475	2 885	3 700	
	光栅投影测量值	1 次	6 542	2 480	2 890	3 696
		2 次	6 526	2 470	2 880	3 689
		3 次	6 548	2 470	2 900	3 707
	人工测量值	6 562	2 466	2 881	3 706	
	最大绝对误差/最大相对误差/ %	36/	17/0.69	19/	17/	

4 结束语

将光栅投影测量的方法应用车辆三维轮廓尺寸测量当中是车辆尺寸参数检测技术中的一种新的尝试。人工测量 1 辆中型货车平均需要 20 min, 并且由于测量基准不易选取, 需要花费较多精力在基准面的选择上, 劳动强度和工作量较大, 且多次测量的基准往往

不一致, 导致重复性较差, 而应用该测量系统效率则会提高很多, 不需要工作人员的参与, 整个测量过程不超过 2 min, 且多次测量的重复性好。该系统不易受自然环境的影响, 可直接应用于公路运输检测中, 同时该系统也达到了快速、准确、非接触测量的目的, 对多种营运车辆(包括挂车)均可获得理想的测量结果。该系统不仅丰富了汽车检测的技术手段, 也

对超限运输的综合治理及确保道路运输的安全、高效、畅通具有重要的应用价值和现实意义。

参考文献:

References

- [1] 中国新闻社. 卡车是中国交通事故第一大户[EB/OL]. <http://gzdaily.dayoo.com/gb/content/2005-12/12/content-2335961.htm>, 2005-12-12
China News Agency. Truck Is The First Contributor of Traffic Accident[EB/OL]. <http://gzdaily.dayoo.com/gb/content/2005-12/12/content-2335961.htm>, 2005-12-12
- [2] 中国新闻社. 2005年中国道路交通事故致9万余人死亡[EB/OL]. <http://www.cnsphoto.com/NewsPhoto/ShowNewsDetail.asp?Flag=245423>, 2006-01-12
China News Agency. Chinese Road Traffic Accident Led to 90 000 People Died[EB/OL]. <http://www.cnsphoto.com/NewsPhoto/ShowNewsDetail.asp?Flag=245423>, 2006-01-12
- [3] 中华人民共和国交通部. 全国治理车辆超限超载工作简报第(一)期[EB/OL]. <http://www.moc.gov.cn/2006/05zhuzhi/gonglus/gonglusiwjgg/t20040513-16870.htm>, 2004-5-12
P. R. China Ministry of Communications The National Bulletin about Management of Oversize and Overload Transport (I)[EB/OL]. <http://www.moc.gov.cn/2006/05zhuzhi/gonglus/gonglusiwjgg/t20040513-16870.htm>, 2004-5-12
- [4] 昌云宗, 刘成江, 崔同来, 等. 公路超限运输的现状与治理[J]. 山东交通科技, 2004(3): 94-96
CHANG Yunzong, LIU Chengjiang, CUI Tonglai, et al Present Situation and Management of Road Ulmost Transportation

- [J]. Shandong Traffic Science and Technology, 2004(3): 94-96
- [5] 中华人民共和国交通部. GB1589-2004 道路车辆外廓尺寸、轴荷及质量限值[S]. 北京: 中国标准出版社, 2004
P. R. China Ministry of Communications GB1589-2004 Limits of Dimensions, Axle Load and Masses for Road Vehicles[S]. Beijing: China Standard Press, 2004
- [6] 翟乃斌. 基于计算机视觉的汽车整车尺寸测量系统的研究[D]. 长春: 吉林大学, 2007.
ZHAI Naibin Study on Testing System of Vehicle-body Dimension Based on Computer Vision[D]. Changchun: Jilin University, 2007.
- [7] 国家质量监督检验检疫总局. GB18565-2001 营运车辆综合性能要求和检验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2001.
P. R. China General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine. GB18565-2001 Commercial Vehicle Comprehensive Properties Requirements and Test Method[S]. Beijing: China Standard Press, 2001.
- [8] 浦昭邦, 王宝光. 测控仪器设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.
PU Shaobang, WANG Baoguang Design of Measurement and Control Instrument[M]. Beijing: Machinery Industry Press, 2001.
- [9] CHEN Z, PERNG D. Automatic Reconstruction of 3-D Solid Objects from 2-D Orthographic Views[J]. Pattern Recognition, 1988, 21(1): 155-162
- [10] NAGASAMY V, LANGRANA N. Reconstruction of Three-dimension Objects Using Knowledge-based Environment[J]. Engineering with Computers, 1991, 49(7): 379-397.

(上接第122页)

- [2] 中华人民共和国交通部. 公路工程技术标准 JTG B01-2003[S]. 北京: 人民交通出版社, 2003.
P. R. China Ministry of Communications JTG B01-2003 Technical Standard of Highway Engineering[S]. Beijing: China Communications Press, 2003.
- [3] VASSILIOS P, JEROME S, KATHLEEN F. Access Spacing and Traffic Safety[J]. TRB Circular E-C019: Urban Street Symposium, 2003.
- [4] PERSAUD B, LYON C, HARWOOD D W, et al. Safety Analyst: Software Tools for Safety Management of Specific Highway Sites[R]. Washington: FHWA, 2002.
- [5] MIAOU S. Measuring the Goodness-of-fit of Accident Prediction

- Models[R]. Washington: FHWA-RD-96-040, 1996
- [6] VOGT A, BARED J G. Accident Models for Two-lane Rural Roads[R]. Washington: FHWA-RD-98-133, 1998.
- [7] HARWOOD D W, COUNCIL E M, HAUER E, et al. Prediction of the Expected Safety Performance of Rural Two-lane Highways[R]. Washington: FHWA-RD-99-207, 2003.
- [8] HUGHES J W E, STEWART R. Safety Effects of Cross-section Design on Rural Multi-lane Highways[R]. FHWA, 1997.
- [9] 何勇, 唐瑛瑛, 张铁军. 2003年西部交通安全评价报告[R]. 北京: 交通部公路科学研究院, 2006.
HE Yong, TANG Chengcheng, ZHANG Tiejun. Research on the Road Safety Evaluation of Western Roads[R]. Beijing: Research Institute of Highway, Ministry of Communications, 2006.