

北京化工大学

硕士学位论文

动态汽车衡的动态特性分析与数据处理

姓名：张刚

申请学位级别：硕士

专业：机械电子工程

指导教师：王琳

20090612

动态汽车衡动态特性分析和数据处理

摘 要

随着国内高速公路建设的快速发展,同时伴随汽车超载状况的加剧,车辆动态计费系统由传统的按车型计费逐步发展为动态称重计费系统。动态汽车衡因其能在汽车行驶中进行称重,具有速度快、效率高、不干扰正常交通等特点,在实际工作中得到广泛应用。这些产品主要问题有:适应车速范围小,测量精度不高。如何提高适应车速范围和动态称重精度,就成了车辆动态称重系统中的技术难点和关键。在动态汽车衡承载器的设计过程中,通常通过选取合适承载器刚度、优化电路以及改进数据算法等方式来提高称量精度。

本文采用Pro-e建立承载器的模型,并采用MSC公司的有限元分析软件MSC.tran/nastran将承载器部件转化为柔性体模型后导入虚拟仿真平台MD.ADAMS中进行仿真,得到承载器在汽车通过的形变以及各传感器支点的受力,为设计提供更为准确的理论依据,并判断设计完成的承载器能否满足实际的工作需要。

在算法改进部分,采用基于参数估计识别算法,基于参数估计的轴重辨识方法:根据动态汽车衡的动态模型,建立含有未知参数的模型,然后利用系统的输入、输出数据进行系统参数辨识,识别出参数,进而得到被测汽车的重量。本文采用辅助变量法的参数估计法,通过引入辅助变量的方法而达到对参数辨识模型的无偏估计,使得基于辅

助变量法的参数辨识比最小二乘法具有更高的精度，尤其当噪声为有色噪声和噪声模型结构不好确定时，辅助变量法更加有效。它能够在数据很少的条件下取得满意的测量效果。

在数据传输部分，收费系统以Visual C++6.0为开发工具，ACCESS为数据库平台，通过ADO进行数据库访问，利用串口实现数据的传送。程序界面友好性、操作方便快捷和准确数据库连接稳定是本文设计的重点。

关键词：ADAMS；VC++6.0；辅助变量法；动态汽车衡

Dynamics analysis and Data processing of Dynamic truck scale

ABSTRACT

Vehicle Weigh-in-Motion(WIM) systems were rapidly developed following transportation construction, enrolling serious vehicles overload and weighing charge. For it was quickly, efficiently and without interrupt. Dynamic truck scale (DTS) based on WIM systems which can account by the weight of the car is now in widespread use. However; The WIM systems still need improve in some details: limit of the car velocity, measurement accuracy, which is the key content in my paper. The load receptor is the key components of Dynamic truck scale, the appropriate stiffness of it is essential to improve the measurement accuracy in the design process. To optimize the circuit and improve data algorithm also benefit for this.

In order to choose the appropriate stress and strain, the dynamics mechanics model based on MD.ADAMS and MSC.Patran/Nastran is established for load receptor of dynamic truck scale. The key point is to obtain the stress and strain of the load receptor. The result can provide theoretical support and amelioration method for structure design of the load receptor.

The application of parameter estimation in WIM of vehicles is presented. On the basis of discussion of the models of WIM, the parameter equation of axle weight is obtained. Recognize a method mainly knowledge according to the first check of the examination system according to the round heavy dynamic state of parameter estimate, deduce to imply the model which didn't know parameter, then make use of the importation, exportation data of system to carry on system parameter to recognize. Recursive instrumental variable algorithm (RIV) based on least squares method, it introducing instrumental variable matrix to eliminate color noise in the sign. System identification with instrumental variable method is more accurate and effective than with least square method, especially in the case of color noise and uncertain noise's structure. It is an improved algorithm to the WIM and obtains satisfied result with small number of data.

Realizing method of system designing VisualC++6.0 which development tool and ACCESS 2003 which is database, and depending on ADO technology link database and serious communication and long-distance data-transmit. The paper aimed at friendly interface, convenient operation and accurate database connection.

Key word: ADAMS; Visual C++6.0; RIV; Dynamic truck scale

北京化工大学学位论文原创性声明

本人郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本论文不含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

作者签名： 张刚 日期： 09.6.1

关于论文使用授权的说明

学位论文作者完全了解北京化工大学有关保留和使用学位论文的规定，即：研究生在校攻读学位期间论文工作的知识产权单位属北京化工大学。学校有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘，允许学位论文被查阅和借阅；学校可以公布学位论文的全部或部分内容，可以允许采用影印、缩印或其它复制手段保存、汇编学位论文。

保密论文注释：本学位论文属于保密范围，在2年解密后适用本授权书。非保密论文注释：本学位论文不属于保密范围，适用本授权书。

作者签名： 张刚 日期： 09.6.1
导师签名： 王林 日期： 09.6.1

第一章 绪论

1.1 论文选题的背景及主要内容

1.1.1 问题提出

超限超载问题是经济和社会发展到一定阶段,车辆生产与管理、运输市场、管理体制等诸多矛盾在运输环节的集中反映。由于经济利益的驱动,一些地方政府对治理违章超限运输的态度不积极,在解决经济利益驱动问题上办法不多,措施不力;公安、交通部门只注重路面执法,而对源头和治本方面没有配套的治理措施;车辆“大吨小标”、汽车非法改装问题突出,大吨小标车辆已占全社会车辆的80%以上;交通、公安两家在治理超限超载中,由于标准不一,重复处罚现象时有发生。由于以上深层次的问题没有得到根本解决,致使全国治理超限超载工作开展了近四年,但效果并不明显。车辆超限超载运输对交通安全、运输市场及汽车生产秩序造成了极大危害,主要体现在:

(1)交通税收严重流失。目前,我国公路的养护费、管理费、通行费都是按车管部门核定的吨位来收的,一旦有车辆超载,其余车辆跟风超载,且有过之而无不及,而超载就必然导致这部分费用的流失,对那些守法经营者也带来不小的冲击。

(2)公路、桥梁的寿命急剧下降。超限超载车辆的荷载远远超过了公路和桥梁的设计承受荷载,致使路面损坏、桥梁断裂,正常使用年限大大缩短。1958年,美国科学家提出了一种计算超载对路面造成伤害程度的经验公式表明:如果标准轴重是10吨,而超载车辆的轴重是20吨,那超载的车辆对路面造成的伤害是标准轴重车辆对路面造成伤害程度的8到10倍。据交通部门测算,超载使水泥路面缩短使用年限40%,沥青路面缩短30%^[1]。全国公路每年因车辆超限超载造成的损失超过300亿元^[2],给国家财产造成了巨额损失。

(3)造成交通事故频繁发生。车辆超载后其平稳性、操纵性、制动性等安全系数都会大幅度地下降,带来的后果就是交通事故率的大幅度上升,严重威胁着人的生命和财产安全。每年的交通事故中,由于车辆超载而引起的约占45%左右,直接经济损失达数十亿元。

随着治理力度的加大,一些高速公路收费处,随意加收交通费,使得运输司机只增加运输量,更加重道路系统的损坏速度,并且这种罚款带有任意性,也损害了运输司机的利益,同时给社会安定带来不安定因素。我国运输市场上

出现“怪圈”：汽车超载被罚，罚后再拼命超载，运价越来越高，公路遭到破坏，交通事故不断。为了解决这一问题，交通制定了治超执法“五不准”。

交通部治超执法“五不准”：

- 一、没有执法资格的人员，不准上路执法；
- 二、上路执法人员，不准不开收费票据和乱收费、乱罚款；
- 三、车辆没有称重检测的，不准认定超限超载；
- 四、车辆没有卸载消除违章行为的，不准放行；
- 五、同一违章行为已被处理的，不准重复处罚。

由治理超载的五不准可以看出，我们需要一种测量设备，能准确的确定被检验车辆的超载情况，既要有利于治理超载，又要使货运司机的合法利益得到保障，由于公路收费站的收费车流比较大，要求检测必须方便，快捷。

1.1.2 本课题的主要研究内容

1) 秤台的三维模型。根据目前通常使用的秤台的长度和宽度，建立其参数模型，包括承载器的结构构件，传感器的支撑点，并对其静态参数进行分析计算。包括：强度特性，刚度特性，振动周期特性。

2) 动态特性分析。在建立的模型的基础上，使用 ADAMS 分析在加载和卸载时，秤台的动态响应特性，分别仿真出汽车的速度，加速度等对精度的影响。

3) 数据采集和处理，对传感器采集的数据进行处理，并改进算法，提高称量精度。

4) 信号的传输。对处理后的数据，采用 VC++ 进行编程，基于 Windows 平台，采用基于串口的数据方式，利用 ACCESS2003 来进行数据库管理。

1.2 动态汽车衡及其构成与分类

1.2.1 动态汽车衡的构成

动态称重系统是测量行驶车辆的动态轮胎受力并计算相应的静态车辆重量的过程。一个完整的公路动态称重系统是一套传感器和支持仪器，用来测量在特定地点特定时间一辆行驶车辆的出现及其动态轮胎受力，计算车辆的重量，并且处理显示和存储这些信息动态称重系统一般由称重平台、信号调理电路、数据采集电路、车速采集电路、处理器以及屏幕显示、通信电路等组成，如图 1-1 所示。

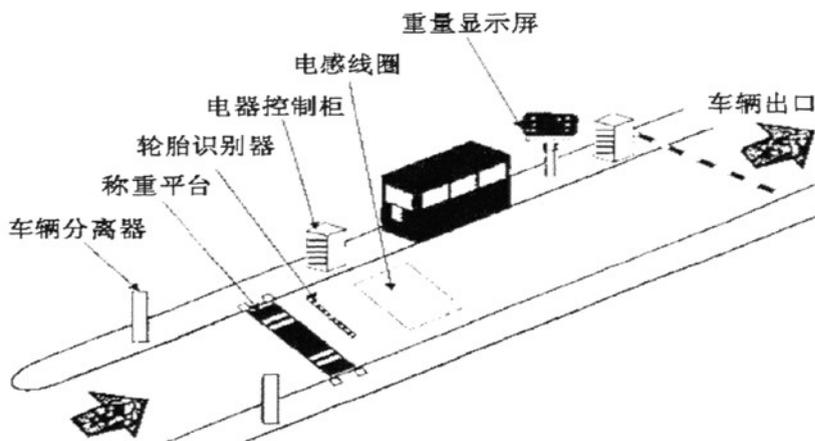


图 1-1 汽车衡的布局

Fig. 1-1 Layout of DTS

1. 分车器

动态汽车衡采用轴重测量的方法，要测出单轴的质量再进行叠加，得到车辆的实际质量。因此系统需要识别测得的数据是否是同一辆车的轴重。汽车动态称重系统一般都是和不停车收费结合使用的。在收费站入口处安放地感线圈，当有物体从其上经过时，其电感发生改变；当没有物体经过时，电感不会改变。当单车、半挂车以及全挂车经过时，由于挂车之间也有连接，因此，连接部分经过时，感线圈电感仍然会发生改变，只要地感线圈的电感持续变化，系统就认为是同一辆车经过收费站。同时，在路侧安装红外光栅分车器，它能消除跟车现象，将半挂车、全挂车、单车可靠分离。这两者结合，保证了称重检测数据与车辆的一一对应关系，不会出现由于误判而产生多车或少车现象。

1) 红外车辆分离器(也称光幕):由一对红外光发射器、红外光接收器组成,相向分置车道两旁。用以判断是否有车辆通过车道以及何时完全通过。

2) 电感线圈(也称收尾线圈或地感线圈):用来进行车辆的辅助分离。通过电磁感应判断是否有车辆通过线圈。当电感线圈用于辅助收尾时,又称为收尾线圈。

2. 车辆轮胎识别器

在实际的汽车动态测量中,一般采用车辆轮胎识别器来进行轮胎数的识别,当汽车通过时,会压下识别器,通过感应到压力的识别器的数量,可以知道单个轴轮胎数量。识别器的简图如图 1-2:

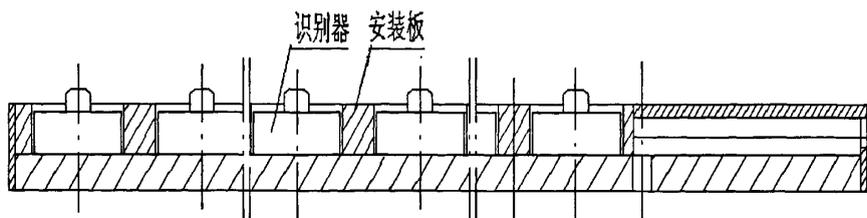


图 1-2 车辆轮胎识别器简图

Fig.1-2 Diagram for tyre identification sensor of DTS;

3. 承载器

通过承载器下面的传感器所受到的压力变化，得到车辆轮胎瞬时重量信号，该信号进入电器控制系统，经过A/D转化得到秤台上的瞬时重量，并由数据处理系统进行建模处理得到车辆每根轴的重量，它是汽车衡的核心部件。

4. 电器控制柜

电器控制柜控制光幕、地感线圈、称重传感器、轮胎识别器等。它负责传感器，地感线圈，轮胎识别器等数据的采集和处理，并将处理过的数据传输到工控机上，并根据工控机发出的信号，控制显示屏，这也是汽车衡的核心部位。

5. 牌照识别系统

包括摄像系统和识别系统，能够准确的识别汽车车牌，集合数据库系统，可以得到汽车车体的信息和以往的称重结果。

6. 称重收费显示屏

负责显示车辆信息结果的平台。

1.2.2 动态汽车衡的分类

对动态汽车衡进行分类的目的是：了解不同种类汽车衡的种类以及它们的功能，方便选用正确的产品。汽车衡有不同的分类方法，比如按安装方式、产品用途、称重传感器数量和用途等，本文采用的是按用途分类的方法。

1. 超限超载检测系统

系统由动态称重系统、车型判别子系统、超限执法子系统构成，并可根据用户实际需要扩展车道控制子系统、视频监控子系统、远程数据监控子系统、超限报警指示子系统。具有检测效率高、检测数据准确、操作简便灵活等特点，但只检测汽车是否超载，不进行具体轴中的称量。

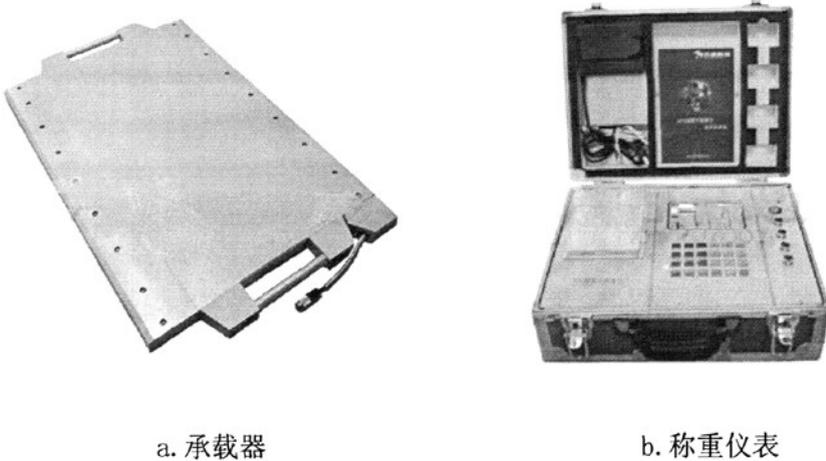
2. 计重收费系统

通过安装在收费车道前端的动态称重系统，将采集到的车辆重量、车型等信息传送到车道收费计算机，收费计算机根据计重收费费率，对货运车辆按实际重量计收通行费。具有称重准确、性能稳定、长期可靠等特点。

3. 便携式动态汽车衡

便携式动态汽车衡，其载体是由高强度铝合金制成，集成了图像采集，

计算机控制，大屏幕显示器等设施。其独特的传力感应方式，使其不仅可以对行进中的车辆轮轴载荷进行动静态有效称重，而且重量轻、外形小，还可以直接在路面上使用，具有快捷、便携的特点。



a. 承载器

b. 称重仪表

图 1-3 便携式动态汽车衡

Fig.1-3 Convenient DTS

4. 高速预检称重系统

对在行车道上正常行驶的载货车辆进行重量预检测，如有车辆超过系统设定的限载值，则该车辆的检测数据、车辆图像及识别出的车牌照号码等，被传输到前方的治理超限超载执法站内，同时，车辆前方的门架上配置可变情报板，用以显示违章车辆的车牌照号码及警示信息，配合路侧的交通标志，引导违章车辆进入前方执法站内，经过低速动态称重系统精确称重，作为执法依据。适用于在车流量大、车道多、车速快的高等级公路上，具有检测效率高，检测针对性强的特点。

1.3 本课题相关领域的历史、现状和前沿发展情况

1.3.1 国外汽车衡的发展

在上世纪许多国家的道路运输普遍存在超载现象，为了避免超载车辆对公路造成早期破坏，欧共同体成员国和美国、日本、加拿大等国在上世纪 50 年代就开始对汽车动态称重系统进行研究并取得了相应的成果。1974 年，美国首次在车辆载荷研究中使用 WIM 系统；同年法国取得了一项压电缆动态车辆称重器的专利，即 Vibracoax。上世纪 80 年代中期，美国各州开始推广安装 WIM 系统。1992 年，由欧洲高速公路系统研究实验室联盟(FEHRI)发起，按照欧盟运输委

委员会(ECTD)的程序框架制定了 COST323 计划, 该计划主要内容就是研究对公路行驶车辆进行动态载荷监控的相关问题, 其中最重要的一项测试是在瑞士进行的为期 30 个月的 WIM 系统实际应用测试。1994 年, 欧盟开始进行 WAVE(Weighing in Motion of Axle and Vehicles for Europe)计划——从 1997 年 6 月到 1998 年 6 月在瑞典寒冷条件下进行产品系统测试, 即著名的 CET(Cold Environment Test)测试。结果表明德国 PAT、瑞士 Kistler、美国 Mikros 等公司的产品在测量性能方面处于领先水平。2000 年 ITS 年会上展出了一种由美国 MSI 公司开发的共聚物压电轴传感器, 可以同时测量车速、车轴数、轴距并进行车型分类和动态称重。具体产品历史如下:

1958 年, 美国开始了为期 16 年的 WIM 系统研究。

1968 年, 南非获取了第一个电容式 WIM 传感器专利。西德的 PAI, 公司也在这一年开始了平板式动态车辆称重器的研究。

1974 年, 美国首次在车辆载荷研究中使用 WIM 系统: 同年, 法国取得了一项压电缆动态车辆称重器的专利, 即 Vibracoax。

1982 年, 美国的 Streetre、英国的 Goldenberg 公司在南非专利基础上采用先进电子技术, 使性能大大提高。

1983 年, Vibracoax 动态称重系统首次在欧洲投入使用。同时 PVDF 压电材料用作动态称重的研究在美国开始。这一年九月, 美国联邦公路管理总署(FHWA)提议研究“低成本动态车辆称重系统”。

1984 年, 美国的 36 个州均安装了 WIM 系统。

1985 年, 美国的“低成本动态称重系统”在现场投入运行并提交美国联邦公路部署推广使用。

1988 年, 英国研制了一种性能优于 Vibracoax 的新型称重压电传感器 Vibeteks。1991 年已改型 TVibetek20。

1990 年, 在美国举行的“国际交通数据采集技术会议”上, 西德 PAI 的平板式传感器性能较理想。同时展示数种低成本的动态称重系统, 它们主要基于压电缆、压电膜和电容传感技术。在安装条件很好的情况下, 能使统计平均误差控制在 15%左右。

1992 年, 由欧洲高速公路系统研究实验室联盟(FEHRI)发起, 按照欧盟运输委员会 ECTD)的程序框架制定了 COST323 计划, 该计划主要内容就是研究对公路行驶车进行动态载荷监控的相关问题, 其中最重要的一项测试是在瑞士进行为期 30 个月的 WIM 系统实际应用测试。

1994 年, 在中国举行的“国际交通自动化技术会议”上, 德国展示了采用平板式传感器的 SAW100 动态称重系统及其在自动收费站的应用。

1994年, 欧盟开始进行 WAVE(Weighing in Motion of Axle and Vehicles for Europe) 计划, 从 1997 年 6 月到 1998 年 6 月在瑞典寒冷条件下进行产品系统测试, 即著名的 CET(Cold Environment Test)测试, 结果表明德国 PAT、瑞士 Kistler、美国 MikrOS 等公司的产品在测量性能方面处于领先水平;

2000 年 ITS 年会上展出了一种由美国 MSI 公司开发的共聚酯压电轴传感器, 可以同时测量车速、车轴数、轴距并进行车型分类和动态称重。

1.3.2 国内汽车动态称重产品的历史与现状

国内超载现象在某些省份特别严重, 尤其是存在矿产资源的地区。我国“七五”期间开始引进和消化国外动态称重系统, 同时也开始对动态称重系统进行研制; 但引进的产品都属于国外换代产品, 主要问题有: 适应速度范围小(一般在 10km/h 以下), 测量精度不高, 传感器过于庞大, 安装施工及维护不便。1994 年一种动、静态两用电子轨道衡在太原钢铁公司通过了鉴定; 该产品集动态和静态轨道衡的优点于一身, 较好地解决了检测精度与车辆通过速度之间的矛盾。作为国家“八五”期间重点科技项目, 交通部重庆公路科学研究所研制了一种固定式动态车辆称重系统, 该系统由一套称重传感器和一台电子测量仪器构成, 每车道布置两只传感器, 每台仪器可测量 1~4 个车道, 轴重误差小于 $\pm 10\%$, 置信度为 95%。1999 年, 德国 PAT 载荷监控产品开始进入中国市场, 云南航天新技术工程有限公司引进其技术并于 1999 年 8 月获得了国家技术监督局颁发的《计量器具型式批准证书》。由于对动态汽车衡投入的不断加大, 国内的技术水平也逐步提高, 并且在软件和算法方面已经达到国际水平。2008 年 7 月, 北京万集科技有限公司的电子不停车收费系统通过交通部 ITS 检测中心 ETC 物理层测试和互操作性测试。

1.3.3 前人的研究成果

1. 算法方面的研究成果

为了抑制汽车超载给道路设施造成损害, 国外从上世纪 50 年代后期就开始对车辆超载检测技术进行了研究, 到上世纪 90 年代基本上形成了成熟产品, 产品也由静态的整车测量发展到了动态的轴重检测, 这就是人们熟知的动态称重 WIM(Weigh-in-Motion) 技术。在过去几十年的动态称重技术研究中, 在如何保持检测精度的前提下提高汽车通过速度一直是各研究机构所致力解决的问题, 不懈的努力使动态称重技术已经得到了很大的发展, 综述国内外资料, 目前动态称重算法主要有以下几种:

1) ADV 法、DV 法、V 法^{[3][4][5]}

该类方法是 80 年代的日本小野敏郎为解决动态称重问题所提出来的,其测量思路是同时或单独测量重物移动的位移、速度和加速度,然后用直接方法或数值积分方法求解称重过程的微分方程以获得力值。这类方法有些因需要同时使用多种不同类型传感器而难以实现,有些虽然只使用同类传感器,但由于采用积分方法因而造成了准确度较差,且往往只适于噪声很小的场合。

2) 位移积分法^[6]

该方法是目前国内多个科研单位主要采用的方法,也是 ADV 法、DV 法、V 法的一种沿袭。其原理大致是:将称重系统的输出信号对一小段位移 L_1 沿其长度 L 方向积分, L_1 的两端通过对称重系统各传感器的输出信号进行比较而定,如图所示。动态分量在积分区间被平均,使汽车振动造成的干扰影响较小,因此精度相对也较高。这种方法需要较长的数据才能保证精度,但是由于需要很长的时间,故对数据的选取和处理提出很高的要求。

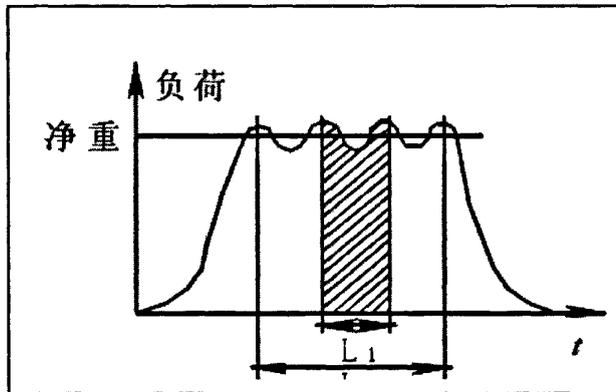


图 1-4 位移积分法示意图

Fig. 1-4 Schematic diagram for integral displacement

3) 参数估计法^{[7][8][9]}

该方法把动态测量作为一个参数估计和预测问题来处理,即首先根据有关称重测力系统的先验知识,推导出一个含有未知参数的模型,然后用该模型去拟合称重测力过程的输出信号,从而获得最小平方误差意义上的参数估计。由于被测重量或力值可以看成是称重测力过程的终值,因此它们可以用模型参数进行估计或预测。

4) 补偿法^[10]

针对当传感器响应速度慢和超调量大时限制了动态称重速度和准确度的情况,该方法提出通过设计补偿元件,在比“称重传感器稳定时间”更短的时间

内完成测量，动态称重装置主要由称重传感器和动态补偿元件组成。对于动态吊秤，有人提出为了削弱纵向振动所导致的高频干扰，可进行桥式动态补偿与阈值动态补偿；为削弱横向摆动所导致的低频干扰，可进行三点式补偿。但该方法在车辆再根据该模型和网络输入数据得到车重，并期望提高检测精度。

5) 神经网络^{[11][12][13]}

该方法主要是基于并行技术的思想，以神经网络技术为控制核心，采取多因素协调，将检测过程中对影响称重精度和限制车辆通过速度起主导作用的因素作为训练样本，通过训练获得较好的网络模型。

6) 专家系统：

该方法引入知识模型构成专家系统^[8]，即把优秀称重测量专家的思维过程固化到测量程序中，并与计算机修正程序结合起来，进而提高计量仪器的测试能力和故障检测能力。

2. 承载器的设计方法

动态汽车衡承载器是汽车衡的主要承载部件，它是用来承受载荷在台面上产生主弯矩的一种结构，从设计上讲它应具有足够满足最大载荷的强度和刚度，承载器设计变化不大。：

1) 型材并联结构

采用国标槽型钢作边框，采用 Q235 钢板作主筋板。可根据承载器的长度不同的选用不同型号的槽钢和不同厚度的钢板，此机构焊接方便，易于校正，为国内外厂家采用。

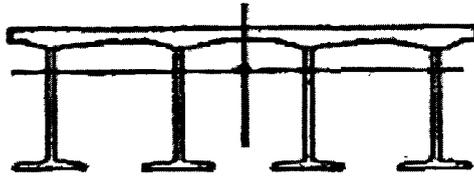


图 1-5 承载器的型材结构

Fig.1-5 DTS of shape structure

2) 箱体结构

箱体结构是将相同厚度的钢板，焊接成几组箱体梁。这种结构把型钢更换成冷弯槽、减少内部布筋、降低台面钢板厚度有很多优点^[10]：（1）使承载器的整体重量明显降低，可以在相同的强度和刚度条件下，可以节约大致 20%左右的钢材；（2）秤体焊接量大大减少，焊条用量减少；（3）此结构的秤体备料方便，适合制造成模块化单元，模块单元组合成任意长度的秤体，非常适合大批量生产。但是由于在焊接过程中容易扭曲变形，在实际中采用此设计方法的厂家不多。



图 1-6 承载器的箱体结构

Fig.1-6 DTS of Box structure

1.3.4 电子汽车衡的发展趋势

对 WIM 系统的共同要求如下：(1) 精度高；(2) 安装方便；(3) 测定时的有效性高；(4) 可靠性好，寿命长；(5) 便于测试，不影响汽车通行；(6) 维护方便；(7) 标定简单方便；(8) 数据网络化，统一管理；(9) 设计合理，造价低廉；(10) 测定安全，抗干扰能力强，能预防各种人为的作弊行为。经过了几十年的研究，现在的汽车动态称重系统已经取得了一定的成果，但汽车动态称重系统在国内的研究应用时间还很短，已有的动态汽车重系统主要是从国外引进的技术，做的二次开发。“七五”期间开始引进和消化吸收国外动态称重系统，同时也开始对动态称重系统的研制。但是，不论引进或研制的系统都属于国外换代的产品。缺乏核心技术，加上道路和被测量汽车的种类繁多，动态称重系统在国内都处于比较前沿的位置，技术都还没有完全成熟，主要问题有：适应速度范围小(低速范围)，测量精度不高，以及传感器过于庞大，给安装施工以及维护带来很大的不便。特别是测量的精度、汽车的通行速度、系统结构三方面都需要很大的改进。

1. 测量精度

目前动态称重系统精确度低，主要是因为加在传感器平台上的力除了汽车的真实重量之外，还有由许多因素引起的干扰力，如车速、车辆自身谐振、路面激励、轮胎驱动力等，汽车的真实重量有可能淹没在了各种干扰中，如何从外界随机不确定的干扰力中获取真实的车重，是动态称重技术的难点和关键。国内研制出的固定式动态称重系统的轴重误差通常为(5%—10%)，但是在有些场合还是不能满足，提高精确度是动态称重技术的迫切需要。

2. 汽车的通行速度

现在的动态称重系统允许汽车通行速度比较低，每小时 5-10km。但是随着不停车收费系统的普及，就要求在更高的汽车通行速度下准确测量，目前现有应用的动态称重系统就不能符合要求。为了满足未来交通的需要，美国纽约州立大学的研究人员已经研制出了在汽车时速高达 88km，路面应力达 $10\text{kg}/\text{cm}^2$ 的情况下，其测量精度可保持在 2% 以内的动态称重系统，但是造价过高，目前还不能推广使用。所以国内的科研人员也可以在引进的技术中加以突破或者研

制出具有自我知识产权的系统，在一定的精度保证下，降低价格，不断提高汽车的通行速度。

3. 动态称重系统的结构

现有应用的动态称重系统，一般是固定安装，建设周期长，造价比较高，影响公路的正常运行。这就需要不断的改进系统的结构设计，即在不影响测量速度和精度的前提下，要尽量减小占地面积工程造价和安装要求，简化结构，缩短工期，最好能不影响公路的正常运行。从发展的角度看，汽车动态称重系统今后可望在以下几个方面有所进展：

- (1) 称重时汽车的通行速度进一步提高。
- (2) 动态称重精度优于 3%，并尽量提高。
- (3) 尽量减小占地面积、工程造价和安装要求。

1.4 课题的立论和意义

近年来，随着国家治理超载超限的深入，动态汽车衡（以下简称汽车衡）以其准确的测量和便捷的操作，很快在全国得到推广，现在通常的设计汽车衡承载器过程中，通常只对他们静态特性，比如强度、刚度进行校核，很少考虑他们的动态特性，这种设计方法存在的问题是：虽然在汽车衡运行过程中，承载器的强度可以达到称重要求，但是可能存在由于刚度不够，会给称量带来很大的误差。因此，分析承载器的动态特性是非常必要的。目前，随着传感器精度的提高和对于数据处理的方法的改进，动态汽车衡的精度和速度有了很大程度的提高，称量的稳定性和便捷性也得到保障，但是现代车流量的不断加大，要求汽车在通过检测的出入口处，需要更快的速度通过检测口。这就要求在数据的采集和处理过程中，采集的数据要尽可能的少，并且采用的算法效率要高，对于抗干扰方面，也要尽可能的提高。

第二章 动态汽车衡的原理与动力学分析

随着国内高速公路建设的快速发展,同时伴随汽车超载状况的加剧,车辆动态计费系统由传统的按车型计费逐步发展为动态称重计费系统。动态汽车衡因其能在汽车行驶中进行称重,具有速度快、效率高、不干扰正常交通等特点,在实际工作中得到广泛应用。目前较为流行的是轴重称量——轴重仪,即分别测出车辆各轴轴载,再由测试系统计算出整车重量。在静态称重时,车辆的轮胎平稳地作用于轴重仪秤台下,承载器只受到竖直向下的力,没有外力的干扰,因此容易实现高精度测量,结果较为准确。动态称重时,车辆以一定的速度通过轴重承载器上的力除真实轴重外,还有许多因素产生的干扰力,如车速、车辆自身谐振、路面激励、轮胎驱动力等。给动态称重高精度测量造成很大困难。因此,在外界随机不确定干扰力作用下,如何准确测出真实轴重,就成为动态轴重测试系统的技术难点和关键。故此对干扰力进行分类、整理、分析、综合,从动态测试系统的整体角度探讨能减小或消除这些干扰力影响程度的措施和测试方式,是提高称量精度的必要方法^[4]。

目前就汽车的动态称量而言,精度最高的是在静态称重基础上改进形成的动态汽车衡,多为整车计量。这样以汽车的通过速度 10km/h 计算,如果承载器结构和传感器的响应时间为 1 秒,那么,动态汽车衡的承载器台面还需比静态称重的汽车衡再增加 3m 以上的长度。这样长度的承载区需要更高的机械强度和更多数量的传感器,大大增加了工程造价和制造难度,同时,由于汽车应用的灵活性,这种整车计量的汽车衡对车型和拖挂状态的适应性也很局限,再者,使用时需要在路旁或路口设置专用场地或者称重站,测定效率低。由于称重信号处理方法的局限,目前阶段动态轴计量的精度还很低,要准确地进行动态称重,充分分析汽车动态称重系统是基础,只有充分分析了汽车衡的构成、原理、动态特性(包括承载器和传感器)以及外界对其精度的影响,才能更好地进行动态汽车衡的设计和改进,达到提高称量精度的目的。本章对动态汽车衡系统的构成、基本原理以及影响测量精度的因素问题进行的分析,为动态汽车衡承载器建立有效的数学模型;指出外界因素的影响和改进方法,为后面汽车衡动态仿真和算法改进提供必要的理论支持。

2.1 动态汽车衡称重系统的构成与原理

2.1.1 动态汽车衡系统结构

动态称汽车衡一般由承载器、压力传感器、信号调理电路、电器控制柜、处理器（工控机）核心部件以及轮胎识别器、车牌识别系统、称重收费显示屏等辅助部件，如图 1-1 所示。系统的承载器平面与公路路面处于同一水平面，当汽车通过承载器平面时，传感器将汽车车轴对承载器的压力量（轴重）转化为传感器的电压信号，经信号放大，数据采集电路并通过调整滤波后，传输处理器（工控机），处理器将测得的动态车重信号和车速信号进行数据处理后得到车辆的真实重量，轮胎识别器和车牌识别系统得到汽车的信息。称重系统的收费平台通过相关部分设定的费率，并结合计算机数据库系统内原有存储的汽车称重纪录，计算出应收的费用，并通过称重显示屏显示结果。

2.1.2 动态称重系统工作原理

当车辆进入称重区时，首先检测到有车辆进入时开始称重，车辆逐轴通过承载器，在荷重力的作用下，传感器的弹性体在弹性范围内发生与荷重力成正比的变化，从而使弹性体上的应变片阻值也发生正比的变化，配合检测电桥，得到与荷重力成正比的检测信号，此电压信号通过模拟滤波器对信号进行滤波，滤波后的模拟信号进行放大并通过 A/D 转换器转换成数字信号，A/D 转换器将数字信号送给处理器进行数据算法处理，同时根据测量的车辆速度进行数学融合进而得出真实的车重值，然后进行显示，并根据需要和上位机进行通信。更完善的动态称重系统，还应该包括工控机系统，它接收分车器、车牌识别器和轮胎识别器的信息，并结合工控机原有的数据库系统，能够更多的了解汽车本身的信息，既获取称重数据，又可以在计算机上建立数据库以便实现对数据管理。具体的工作原理如 2-1 图所示。

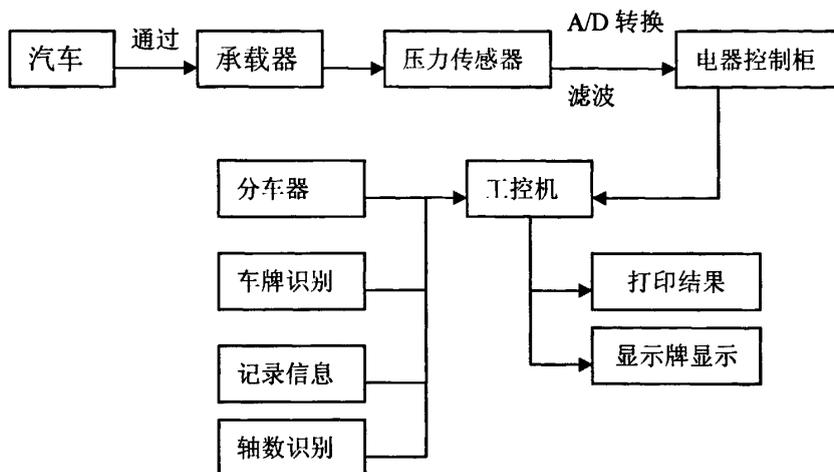


图 2-1 动态称重系统工作流程框图

Fig.2-1 The work flow of WIM system

2.2 影响称量的准确度因素

2.2.1 汽车运动的动态模型及分析

如图 2-2 所示,汽车用如图所示平行六面体代表。当它在动态下通过动态汽车衡承载器时可以导致几个方向的运动:沿 X, Y, Z 各轴移动;围绕 X, Y, Z 各轴转动。它们之间的相互作用和影响,使要求的重力即沿 Z 轴向下的力受到严重干扰,其变化波动不断,给称重带来极大的麻烦^[16]。

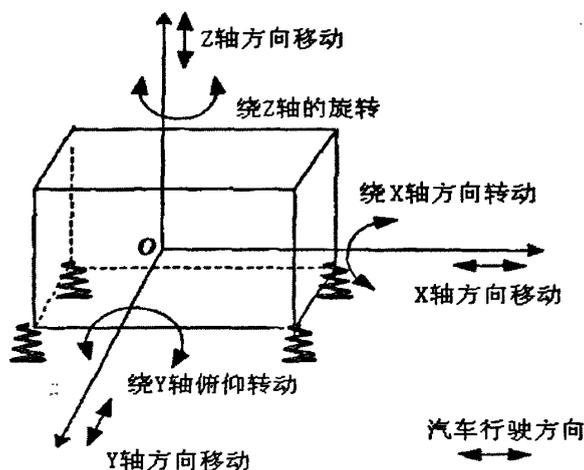


图 2-2 汽车的运动状态示意图

Fig.2-2 Diagram of moving truck states

1. 绕 X 轴的转动

在汽车的行驶过程中，由于路面不平等情况的影响，会引起同一轴左右轮不在同一水平面上，就造成了绕 x 轴的转动。这就表示在同一个轮轴上的重量从一个车轮向另一个车轮上转移。如果路面的倾斜不大，或者汽车运动时 X 轴的倾角不大，在轴重称量中，由于左轮和右轮是同时测量，就能补偿这种重量的转移。所以，在倾角比较小的时候，这种绕 X 轴的转动对动态称量的结果影响不大。

2. 绕 Y 轴的转动

汽车在进行动态称重的时候，由于路面或者称重台面等的影响，会造成汽车的点头运动（绕 Y 轴转动）。这种运动表示重量会从前轴移到后轴，或与之相反，从后轴移至前轴。这种运动会对动态称重的结果造成很大的影响。

3. 绕 Z 轴的摆动

表示汽车在水平面的运动。这种运动会引起车轮与称重传感器的接触点发生变化，这个变化局限于在水平面之内。这就要求称重传感器对水平方向的力，和对力的作用点的变化不敏感。事实上，一般的称重传感器都具备这样的性质。所以，这种水平方向上的运动，对称重结果影响不大。

4. 沿 Z 轴的运动

沿 Z 轴的运动就是垂直运动，由于路面的不平所引起。很显然，这种运动将产生垂直方向的力，所以会对动态称重结果有较大的影响。

综上所述，在动态称重中，沿 Z 轴的运动和绕 Y 轴的滚动是影响称量结果准确度的主要因素，其它运动为次要因素，应当想办法减小这两种运动所造成的称量误差。

2.2.2. 常见动态干扰因素分析

从上面的分析可知，影响汽车动态称重精度的主要动态因素为：

1. 汽车的振动

在车辆的动态称重过程中，由于车辆、地面、承载器三方面的相互影响、相互作用，使得整个称重系统的振动很复杂。引起振动的原因是多种多样的，最主要是汽车自身造成的，如：发动机偏心转动引起的周期性振动，由轮胎花纹引起的周期性振动，由油料燃烧不均匀引起的随机振动以及驾驶员操纵不稳定（如刹车、转向、变速）引起的不均匀振动。除此之外，还有两种导致振动的原因影响动态称重结果。

(A) 汽车自身的谐振。可以把整个称重系统看成一个弹簧振子，其周期为：

$$T = 2\pi\sqrt{M/k'}$$

M 为汽车的自重和载重之和;

k' 为汽车等效弹簧的刚度.

由周期公式可以看出, 谐振周期与汽车的自重、载重及等效弹簧刚度有关。一般车辆重量比较大, 而等效弹簧刚度又相对较小, 因此这个振动周期就比较大, 振动频率一般为 2.5-7Hz。

(B) 由车辆测量耦合而产生的振动。当车辆行驶时, 由于承载器台面和轮胎之间的挤压作用, 他们之间的受力并不能看成在一个点上, 承载器台面和轮胎均会出现微量的弹性变形。

2. 汽车的行驶速度

车辆与路面的相互作用可以分为动力载荷和静态载荷。静态载荷是指汽车静态时对路面的负荷, 可以认为是汽车的静态称量的重量。动态载荷是汽车行驶时对路面的负荷。汽车行驶时, 动态载荷可以简化分为四种典型动力荷载:

图 a) 地面相当平整, 当车辆振动很小时, 我们就可以把车辆荷载简化为恒定荷载。

图 b) 如果在车辆行驶过程中发生了相当剧烈的振动, 当然这种振动不是频繁地发生而只是偶然出现的, 但为了描述车辆荷载的波动情况, 但又不希望这种描述过于复杂, 那么可以取图 b) 所示的稳态(谐振)荷载来进行分析。

图 c) 如果在车辆行驶过程中发生了相当剧烈的振动(当然这种振动不是频繁地发生而只是偶然出现的), 甚至车辆“跳离”了地面, 则为了研究车辆落地之后这种振动对结构的破坏作用, 我们便可单独地考虑冲击荷载作为模拟这种车辆荷载的数学模型:

图 d) 最完善的荷载模型则要属 d) 所示的随机荷载了。如果对随机荷载的分析透彻了, 那么对其它几种情况的分析将变得毫无困难。在车辆动态称重中, 主要的情况是 c 和 d 动力荷载的叠加, 速度的大小对动力荷载有着直接影响。

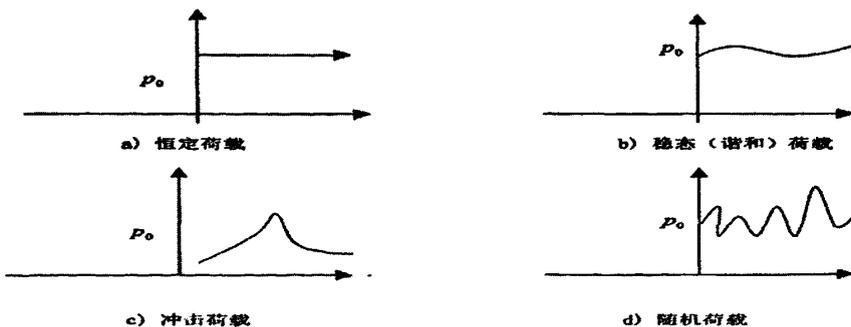


图 2-3 车辆通过称重台的振动曲线

Fig. 2-3 Vibrated curve of DTS while the truck passing by

3. 汽车加速度

上文讨论了车辆匀速行驶时速度大小对称重结果的影响，下面看一下汽车速度大小发生变化即存在加速度或减速度时，对称重结果的影响。假设一双轴汽车通过称重台时以加速度 a ($a > 0$) 行驶，其受力情况可以用图 2-5 模型来分析，前轴是驱动轴。汽车没有加速度时，其前、后轮轴称重结果分别是 W_1 和 W_2 ，汽车总重 $W = W_1 + W_2$ ；有加速度时，其前、后轮轴称重结果分别是 W_1' 和 W_2' 。当汽车加速前进时，其前轴（驱动）上有一个力 F ，且一般来说 F 是时间 t 的函数，即 $F = F(t)$ 。设前轴称重时驱动力为 F_1 ，后轴称重时驱动力为 F_2 。假设汽车重心自到前后轮轴的距离分别为 L_1 、 L_2 ，汽车前后轴距为 L ，轮轴距地面高度为 h 。匀速行驶时，汽车对前、后轮胎接触地点 A、B 两点转轴的力矩应为 0，而有加速度时：

前轴称重时对 B 点力矩： $Wl_2 + F_1h = W_1'l$

后轴称重时对 A 点力矩： $Wl_1 + F_2h = W_2'l$

由以上两式可得：
$$\begin{cases} W_1' = (Wl_2 + F_1h)/l \\ W_2' = (Wl_1 - F_2h)/l \end{cases}$$

汽车总称重结果为： $W' = W_1' + W_2' = (Wl_1 + Wl_2 + F_1h - F_2h)/l \neq W_1 + W_2$

由此可以看出，汽车在经过称重承载器时若有加速度，则其称重测量结果一般不再等于没有加速度时的结果，即产生了误差。至于结果是变大还是变小了，则要根据驱动轴的位置及驱动力的变化情况来判定。若前轴驱动且驱动力不断变大，即 $F_1 > F_2$ ，则称重测量结果将偏小；反之称重测量结果将偏大。因此，汽车经过称重测量台时应尽量保持恒速，避免加速度。

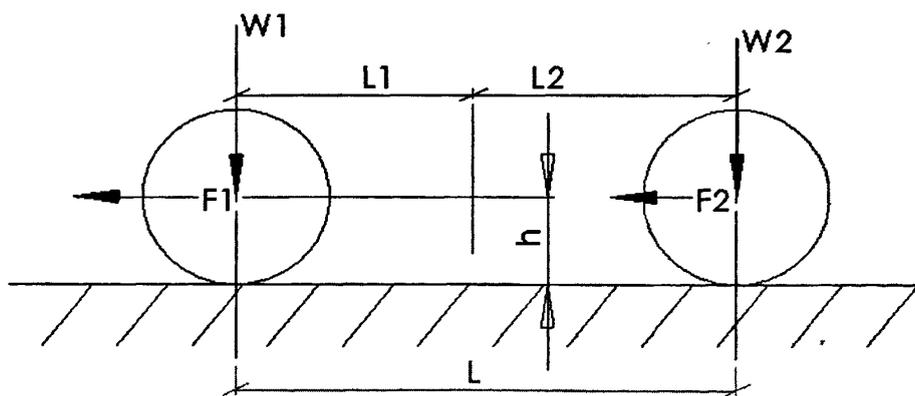


图 2-5 车辆加速时受力情况

Fig.2-5 Truck mechanics model in accelerating states

4. 路面的不平整度或称重承载器造成的不平整

汽车振动还有强迫振动形式，比如因路面不平整度导致的振动。地面表面的

崎岖不平在公路和机场工程中被称为不平整度。它是因施工过程中一些难以人为控制的偶然因素，如施工、材料、气候、环境等以及交通重复荷载的作用而形成的地表不规则起伏的影响造成的。实际上，从空间尺度上来讲，任何不规则的外形，小至材料颗粒表面几个毫米的不平整，大至地面纵向成百上千米的高低起伏都应属于不平整度的范畴。当车轮与路面接触时，由于轮胎的弹性碾平作用，使得路面不平整度的高频成份对汽车的振动影响甚微，因而低频信号在汽车的振动中起着主导作用。

2.2.3 常见静态干扰因素分析

称重系统的静态精度是动态的基础与前提，因此提高称重系统的静态精度可以有效的提高汽车动态称重的精度。影响动态称重系统的静态精度主要包括：

1. 承载器强度和结构

动态称量的承载器结构应比单纯静态称量的秤体结构有更好的机械强度与刚度，以保证被称车辆通过的瞬间有较小的变形，立即会将重力传递给称重传感器，获得称量结果。为了具有较高的振动频率以及良好的动态特性，可参照动态轨道衡的做法，将其与称重传感器一体化，即把应变片直接粘贴在秤的承重梁上。这样就无需再另外选取称重传感器，无需考虑如何连接、限位等问题。

2. 承重传感器的特性

称重传感器是动态汽车衡的核心环节，其性能的优劣和准确度的高低，将对衡器产生直接影响。目前，普遍采用电阻应变式称重传感器，特别对其提出动态特性要求，原因在于人们对客观需要认识不足，有待于规范、统一。动态汽车衡的称量时间大多为几十毫秒到上百毫秒。在这样短的时间内，被称物的重量要经过秤体、称重传感器、采样、放大、A/D 转换、数据处理等环节传递作用，最后把结果反映出来。称重传感器作为其中的一个关键环节，就必须具有较好的动态特性。按时域法，应有对阶跃力的上升时间、峰值时间、稳定时间、超调量等参数；按频域法，应有对正弦力的频宽、峰值、相频带等参数。归纳如下：

A. 温度漂移的问题

系统由于工作在不同的温度下，所以温漂是我们必须要考虑的首要问题。应

该采用合适的电路或是软件方法来克服温度带来的零点漂移问题。

B. A/D 分辨率的问题

分辨率是指数字量变化一个最小量时模拟信号的变化量，定义为满刻度与 Z_n 的比值。分辨率又称精度，通常以数字信号的位数来表示。

C. 传感器本身的非线性问题

传感器系统本身的线性都不是太好，要想提高精度必须对其测得的数据进行处理。

对动态称重的特点，称重传感器的其它性能指标，如抗侧向力、过载、温度影响、密封防潮、装卸更换等，也不能忽视。

2.3 动态汽车衡动力学模型

动态称重 (Weight in Motion, WIM) 是车辆在行进中完成的，车辆的运动使传感器的受力是变化的，而且汽车在通过称重台面时，由于承载器受压力形变以及道路不平激励会引发车辆自身的振动，而承载器的机械结构也将受到激励而产生振动，承载器的结构如图 2-6 所示。

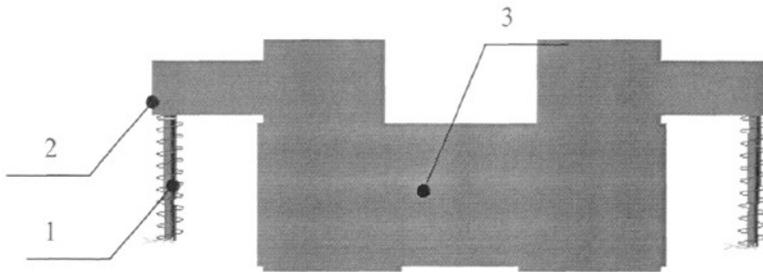


图 2-6 承载器的结构图

1. 传感器(与承载器一起等效为弹簧), 2. 传感器安装支架, 3. 结构钢焊接的承载器体

Fig.2-6 Structure of load receptor

1. sensors, 2. installation fight for sensor, 3. body of load receptor with type steal

当汽车通过承载器时，汽车本身的减震结构和车身可以等效为一个质点跟一个带阻尼的弹簧结构，将这两者结合起来，并将将承载器和汽车理想化为刚性板，将称重部分描述图2-7所示的模型。

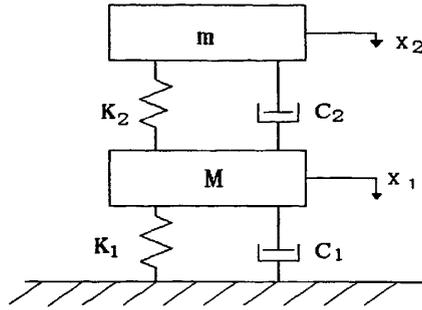


图 2-7 承载器动力学模型

Fig.2-7 Model of load receptor

其中 K_1 、 K_2 分别为承载器和汽车轮胎的等效弹簧； C_1 、 C_2 分别是承载器和汽车轮胎的等效阻尼； x_1 为秤台位移， x_2 为汽车位移、 m 为汽车的重量、 M 为承载器的重量。当 x_1 原点取在汽车轴重为零，承载器 M 处于静止状态的位置； x_2 的原点取汽车和承载器均静平衡时的位置。

第三章 动态汽车衡承载器校核与系统仿真

3.1 承载器结构设计

动态汽车衡承载器(以下简称承载器)用来在承受汽车载荷并将此载荷传递给称重传感器的一种结构,它决定了汽车衡的测量范围,并影响汽车的测量精度,它是整个汽车衡测量系统的最主要的部分之一,必须具有足够满足最大载荷的强度和刚度。

适应不同道路宽度,承载器的长度一般在3.0-4.5 米之间;根据国内外普通车型的轮距与轴距,秤台的宽度一般不超过0.8米,通常取0.75米。这样既能满足测量数据长度的要求,又能最大程度减少承载器本身震动对测量结果的影响[]。

动态汽车衡的传感器一般放置在承载器的正下面,相对于安装在承载器的上方而言,便于安装,同时又保证倾覆力矩为零,解决了重型卡车高速通过承载器导致其倾覆的问题。如图3-1:

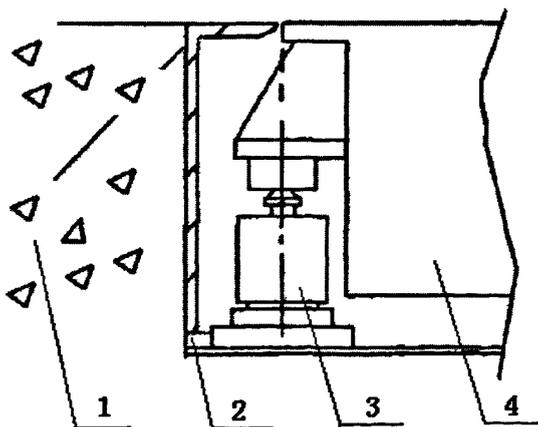


图3-1 传感器安装

1.水泥安装基础, 2.汽车衡底架, 3.称重传感器, 4.承载器

1. installation foundation of DTS, 2. bracket of DTS, 3. weighing sensor, 4. load receptor

Fig.3-1 Installation of DTS

为保证测量的精度,在整个测量过程中,承载器与其接触部件不能产生于重力方向相同的作用力或分力。要求承载器有比较好的限位装置,保持承载器在测量过程中稳定的同时又尽可能的减少这方面的力,限位结构与承载器之间不宜留有间隙,否则动态称重时,汽车对承载器的冲击力会使秤台产生强烈的

震动,严重影响传感器信号采集的准确性,缩短传感器的使用寿命。因此,限位结构可采用拉杆式或钢球撞顶式限位。拉杆式限位结构简单,安装方便,但是要使拉杆松紧必须适度。拉杆过松则影响限位效果甚至不起限位作用,拉杆过紧则影响称重的准确性。钢球撞顶式限位结构可分为撞顶与撞板两部分。撞顶是在螺杆端部加工出容纳钢球的空间,其底部垫以聚四氟乙烯薄片以减小与钢球的摩擦阻力,放入淬火钢球后,再将特制的环形螺帽旋合在螺杆端部,既可露出局部钢球面,又可防止钢球脱落。而撞板是一圆形的淬火钢板,固定在承载器上。安装时,将撞顶旋合在基础的限位板上,使钢球顶在撞板的中心位置。这种结构可极好地限制秤台水平方向运动的自由度,抵消对秤台的附加力,同时又不限制秤台垂直方向运动的自由度,所以不会影响称重结果。钢球撞顶式限位虽然结构较复杂但克服了拉杆式限位的结构弱点,安装维护都很方便,可以说是一种效果比较理想的限位结构。

3.2 承载器的强度与刚度计算

在外载荷作用下选择承载器的结构和截面,使其具有足够的承载能力,保证在额定载荷下长期使用和安全过载时不致损坏。承载器是由型材和面板组成的箱式刚架结构。

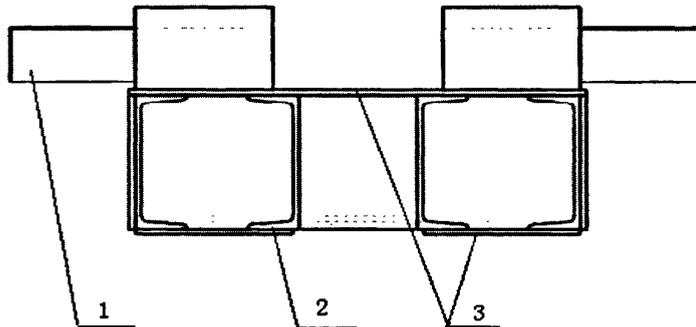


图 3-2 承载器主梁截面图

1. 传感器支架, 2. 型材, 3. 面板

Fig. 3-2 Sectional view of load receptor girder.

1. Sensor, 2. type steal, 3. faceplate

3.2.1 承载器主梁的挠度计算

现以四个称重传感器支承的单个承载器为例进行挠度及刚度计算,承载器的均布载荷为 q 。作用在动态汽车衡承载器上的外载荷为汽车承载的总重量,因

汽车类型不同,承载器在自重 q 和外载荷 P 作用下的力学模型如图 3-3 所示。外载荷作用下产生的弯矩应按两轴的滚动载荷计算,即最大秤量乘以过载和动载系数作为计算载荷,挠度则取承载器跨度中央的最大挠度。

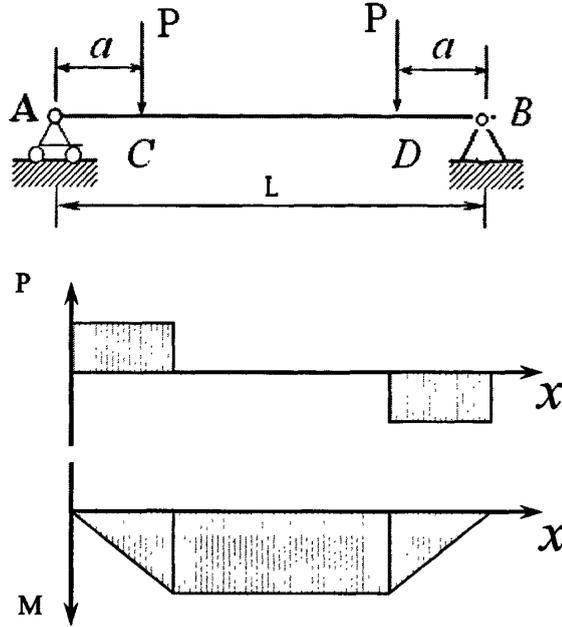


图 3-3 承载器的外载荷力学模型

Fig. 3-3 External load mechanical model of load receptor

注: 最大弯矩并非为当汽车通过中间时, 而是位于一侧轮距 A 点的 $x =$

$\frac{L}{2} - \frac{Lp}{4}$ 时, Lp 为汽车两轮间的距离, $M_{\max} = \frac{P}{L}l(2L - Lp)$ 但是车轮距变换不定, 所以依然选通过中间位置。

承载器因额定量程、外形尺寸、支承方式不同, 有整体式、拼接式和模块组合式等多种结构。现以型材箱式结构 (结合型材和箱体焊接方式的优点) 为例进行强度及刚度计算。其横截面及承载件尺寸如图 3-1 所示。

(1) 承载器截面惯性矩的计算

承载件的截面积 A :

$$\text{面板 } A = \sum A_i \tag{3-1}$$

A_i : 各分截面, 包括型材和面板, 如图 3-1 所示;

(2) 承载器纵向挠度:

$$\text{承载器自重产生的挠度: } w_1 = -\frac{5qL^4}{384EI_x} \quad (3-2)$$

$$\text{加载重量的挠度: } w_2 = -\frac{Pa(3L^2 - 4a^2)}{24EI_x} \quad (3-3)$$

式中:

- q-承载器的分布载荷;
- P-汽车轮胎的集中载荷;
- L-承载器支点间距离(纵向跨度);
- a-集中载荷 P 到支点间距离;
- E-承载器材料的弹性模量;
- I_x -承载器截面对 X 轴的惯性矩;
- 承载器中央产生的最大挠度

$$w_{\max} = w_1 + w_2 = -\left(\frac{Pa(3L^2 - 4a^2)}{24EI_x} + \frac{PL^3}{48EI_x}\right) \quad (3-4)$$

式中 EI_x 为承载器的抗弯刚度, 在外载荷和纵向支点间距离都不变的条件下, 要减小挠度 w_2 提高刚度, 只有提高全部长度或部分长度内截面的惯性矩, 最后必须满足 $w_{\max} \leq [w] = L/1000$ 。

由于承载器结构沿纵向长度方向每隔一定距离都有横向板材或型钢加强, 实际上增大了截面惯性矩, 提高了截面抗弯刚度, 减少了下挠变形, 计算挠度时应适当考虑。

3.2.2 承载器的主梁的强度计算

承载器的强度计算主要为弯曲应力和剪切应力, 由于承载器的结构不同, 细节计算会有不同, 下面分别列出主要公式:

$$1. \text{ 弯曲应力: } \sigma_x = \frac{M_{\max} Y}{I_x} \quad (3-5)$$

Y: 承载器截面的厚度;

M_{\max} : 施加到承载器的最大弯矩。

2. 剪切应力为

$$\tau_{\max} = \frac{Q_{\max} S_x}{tI_x} \quad (3-6)$$

S_x : 承载器截面对中心轴的静矩;

t :截面水平方向上型材和面板的厚度和。

承载器截面的复合应力为:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{\max}^2 + 3\tau_{\max}^2} \leq [\sigma] \quad (3-7)$$

实验结果表明,只要承载器满足刚度条件,强度都能得到保证,为简化计算只考虑纵向挠度及刚度即可。

3.2.3 汽车衡承载基础的计算

保证承载点的最大承载能力大于计量中的最大载荷。以4传感器承载器为例求基础的最大承载值。设前后轴的载荷分配为 $P_1 > P_2$,承载器自重为 W 。取过载系数 R_1 、动载系数 R_2 ,则每个承载基础的最大承载值 R 为:

$$R = \frac{P_1 R_1 R_2}{2} + \frac{W}{4} \quad (3-8)$$

根据实际施工经验,为保证基础受载后不下沉不倾斜,每个基础的承载能力应大于2吨/平方米,各承载点高度差不大于1~2mm。

3.2.4 承载器纵向水平抑制力的计算

汽车驶上承载器时,横向产生的冲击和摆动比较小,所需的横向水平抑制力也比较小,一般不进行计算。纵向产生的冲击和摆动比较大,必须设置纵向水平力抑制器,因此应对所需要的水平抑制力进行计算。现以30t单承载器为例计算如下。

最大称量 $m_1=30000\text{kg}$

承载器自重 $m_2=8000\text{kg}$

汽车驶上承载器的速度取

$V=5\text{km/h}=1.389\text{m/s}$

汽车驶上承载器后,承载器与汽车有共同的速度 v_1 ,根据能量守恒定律,有

$$m_1 v = (m_1 + m_2) v_1 \quad (3-9)$$

$$v_1 = \frac{m_1 v}{m_1 + m_2} = \frac{30000 \times 1.398}{30000 + 8000} = 1.097\text{m/s} \quad (3-10)$$

汽车与承载器撞到纵向水平力抑制器前,传递外载荷的钢球与承载器上的压头和称重传感器上的球座有滚动摩擦,一般撞击后0.5秒钟才能停止,取 $\Delta t=0.5$ 秒,根据动量定理,有:

$$F \Delta t = (m_1 + m_2) v_2 - (m_1 + m_2) v_1$$

式中:F—纵向水平抑制力

v_2 —承载器与汽车的末速度

承载器与汽车停止后, $v_2=0$, 则

$$F \Delta t = -(m_1 + m_2)v_1$$

$$\text{所以 } F = -\frac{(m_1 + m_2)v_1}{\Delta t} \quad (3-11)$$

负号表示作用在承载器上的水平抑制力与承载器和汽车的共同速度 v_1 的方向相反。利用工程单位制, 有

$$F = -\frac{(30000 + 8000) \times 1.097}{0.5} = -85060N \quad (3-12)$$

汽车驶上承载器后, 承载器与纵向水平力抑制器为弹性碰撞, 撞击时间越短所需水平抑制力越大。因此, 应尽量采用带有缓冲弹簧或橡胶缓冲垫的水平力抑制器。因为弹簧或橡胶垫受外力压缩时, 动量守恒、机械能守恒。由于延长了碰撞时间, 所以较大的减少了水平抑制力。

3.3 承载器的动态仿真

3.3.1 ADAMS 介绍

ADAMS 是美国 Mechanical Dynamics, Inc.'s (MDI's) 公司生产的软件, 它为用户提供了强大的建模, 仿真环境, 是用户能够对各种机械系统进行建模, 仿真和分析。和其他 CAD、CAE 软件相比, ADAMS 具有十分强大的运动学和动力学分析功能。本章将对 ADAMS 的主要功能进行详细的分析。包括使用 ADAMS 进行建模、分析的基本过程, ADAMS 的建模功能、分析功能, 以及 ADAMS 如何与其他 CAD、CAE 软件进行数据交换等内容。MD. ADAMS 是集建模、求解、可视化技术于一体的虚拟样机软件, 相对于 MSC. ADAMS, 它可以对刚体和柔性体直接进行接触约束, 而不需作亚元处理, 大幅度提高了仿真的效率和速度。

3.3.1.1 ADAMS 功能概述

ADAMS 软件的核心模块是 ADAMS/VIEW 和 ADAMS/Solver, 以及其他扩展模块。ADAMS/View 可以直接创建机械模型, 并对其进行全方位的运动学和动力学仿真分析。同时对模型进行设计研究和优化设计。下面是各个模块的功能介绍。ADAMS 的设计流程。如图, 各个步骤简述如下:

1. 创建模型

(1) 创建 (build) 模型

在创建机械系统模型时, 首先要创建构成模型的物体 (part), 它们具有质

量、转动惯量等物理特性。创建物体(part)的方法有两种:一种是使用ADAMS/View中的零件库直接创建形状简单的物体(part),另外一种是使用ADAMS/Exchange模块从其他CAD软件(入Pro/E)输入形状复杂的物体(part)。

(2) 给建立好的物体(part)施加约束,这些约束副确定了物体之间的连接情况及物体之间是如何相对运动的。

(3) 给系统施加力和力矩。

2. 测试(test)和验证(Validate)

创建完模型之后,或者在创建模型的过程中,都可以对模型进行运动仿真,通过测试整个模型或模型的一部分,以验证模型的准确性。在此我们可以把机械系统的物理试验数据输入到ADAMS/View中,并且以细线的形式叠加到仿真曲线上,通过比较这些曲线,就可以验证创建的模型的精确程度。

3. 细化模型(redefine)和迭代(Iterate)

通过初步的仿真分析,确定了模型的基本运动后就可以在已经建好的模型中增加更加复杂的因素,以细化模型。

4. 优化设计(Optimize)

ADAMS/View可以自动进行多次仿真,每次仿真改变模型的一个或多个变量,将模型进行参数化,帮助找到机械系统的最优化的方案。

5. 定制界面

用户可以定制菜单,对话框,或利用宏使许多重复工作可以自动进行。我们在建立机械系统模型时应该注意一些问题:在最初的仿真分析建模时,不必过分追求构件几何形体的细节部分同实际构件完全一致,因为这往往需要花费大量的几何建模时间,而此时的关键是能够顺利地进行仿真并获得初步结果。从程序求解原理来看,只要仿真构件几何形体的质量、质心位置、惯性矩和惯性积同实际的构件相同,仿真的结果是等价的。获得满意的仿真分析结果以后,再完善构件几何形体的细节部分和细节效果。

(1) 如果样机模型中含有非线性的阻尼,可以先从分析线形阻尼开始,待线性阻尼分析顺利和完成以后,再改为非线性阻尼进行分析。

(2) 可部分分析系统,逐个排除问题。最后进行系统分析。

(3) 虽然ADAMS/View可以进行非常复杂的机械系统的分析,但是在设计的过程当中应该尽量减少系统的规模,仅考虑影响样机性能的构件。

3.3.1.2 ADAMS/View 的建模功能

1. 建模的种类

ADAMS/View具有较为强大的实体建模功能,能够对零件质量、质心、惯性矩

等进行自动计算,并能加入材料、色泽等特征信息。对于外形不是很复杂的零件,用ADAMS/View建模较为方便。ADAMS/View中建立的物体(part)有四种:

- (1) 刚性体,有质量、惯性矩,在运动的过程当中不会改变形状。
- (2) 柔性体,有质量,惯性矩,但是在运动的过程当中,几何形体会发生改变。
- (3) 点,有质量,但是没有惯性矩。
- (4) 地基,在任何时候都是保持静止不动的。

2. 给零件施加约束和运动

ADAMS/View提供了约束库,包含了常用的运动副约束,指定约束方向、接触约束和约束运动。引入约束可以减少系统的自由度,ADAMS/View中的每种约束都减少不同的自由度数。当进行仿真时,ADAMS的分析器——ADAMS/Solver能够自动计算模型系统总的自由度数及是否存在冗余约束。

3. 给零件施加载荷

ADAMS/View提供了多种力的,包括各种方向力,力矩,重力,弹簧阻尼器等,还有通过输入ADAMS/View提供的函数,这些函数包括位移、速度、加速度函数,力函数,数学运算函数,样条函数,通过这些函数来表达一个非恒力,也可以采用FORTRAN、C或是C++语言编写子程序,描述力的方向和大小。

3.3.1.3 ADAMS 的分析功能

ADAMS具有强大的运动学动力学分析功能,本节将介绍ADAMS究竟能够进行哪些分析,及如何实现这些分析。

1. ADAMS中的测量

在用ADAMS模拟仿真过程中或过程之后,可以定义一些测量的量。模型中

几乎所有的特性量都可以被测量,如弹簧提供的力,物体间的距离、夹角等。在定义了这些测量的量后,当进行仿真时,ADAMS/View自动显示出测量量的曲线图,使用户可以看到仿真和测量的结果。在ADAMS中,测量分为两类,一类是ADAMS预先定义好的,一类是用户可以自己定义的。

(1) 对实体对象的测量(Object Measures)——可以测量模型中关于零件、力、约束的各种特征量。

(2) 对点的测量(Point Measures)——可以测量关于点的各种特征量,如该点在全局坐标系中的位置,或作用在点上的合力等。

(3) 点到点的测量(Point to Point Measures)——可以测量一个点相对另一个点的运动学特征量,如相对速度、相对加速度。

2. 用户自定义的测量

主要包括

(1) ADAMS/View computed measure——是用户设计的设计表达式，表达式中可含有ADAMS/View中的任意变量，ADAMS/View在仿真中或仿真后对其进

(2) ADAMS/Solver function measure——是用户自己定义的函数表达式（function expression），表达式中可以使用用户在ADAMS/Solver中自定义的任何子程序，同时可以使用高效的ADAMS/Solver描述语言（expression language）。ADAMS/Solver在仿真中进行求算。ADAMS/Solver是ADAMS/View的分析器。

3. 用ADAMS进行仿真

模型建好后，可以在模型上进行多次仿真来研究在不同操作条件下模型的运行性能。在仿真过程中，ADAMS/View进行以下操作：

(1) 设置模型中所有对象的初始条件

(2) 建立适当的运动方程，确定模型中的对象在给定力和约束的条件下如何运动。

3.3.2 承载器的模型的建立和柔性化

3.3.2.1 动态汽车衡的称量原理

动态汽车衡的称重原理为：当被称量汽车匀速通过汽车衡承载器时，各组轮胎依次对承载器在竖直方向的压力和等于汽车重量。为保证称量的准确性，当被称量车通过承载器时，必须保证承载器上表面与路面水平。另外，在承载器定位装置能够确保承载器稳定的前提下，须尽可能减小承载器与动态汽车衡的安装基础在竖直方向上的作用力。根据称量原理，可将模型做如下简化：

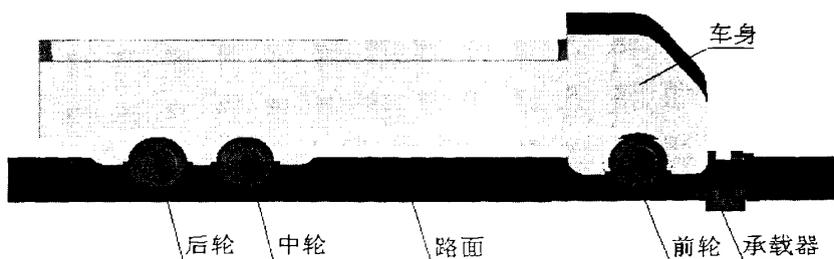


图3-4 动态汽车衡示意图

Fig.3-4 Schematic diagram fo DTS.

(1) 动态汽车衡承载器采用型材和钢板焊接而成，材质均为 Q235-A，将

原与传感器支撑的点，在 ADAMS 直接与地面采用球面约束，略去传感器支架和底架部分。

(2) 将汽车的轮胎和车身、汽车行驶的路面设置为刚体，在不影响仿真精度的前提下提高仿真的速度。

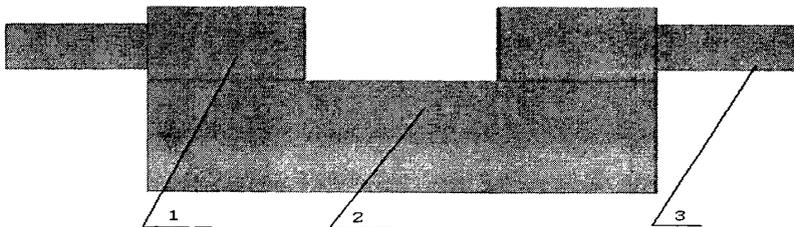
(3) 由于各汽车的发动机震动情况和减震结构不同，故简化汽车轴与汽车车体的减震部分，将其直接用弹簧连接；简化承载器的限位结构，整个仿真过程不考虑在竖直方向摩擦力的作用，这样既能同数学模型统一，又能减少平行于路面方向的分力。通过简化后建立汽车衡模型如图 2-7 所示。

3.3.2.2 三维模型的建立

由于在 ADAMS 中建立模型并不方便，对于模型复杂且精度要求不高的模型，一般采用由其他的三维建模软件建立模型，有通用的交换模式倒入 ADAMS 中。ADAMS 和通用的三维软件如 Pro-e、Solid Works、UG 以及 Catia 等顺利互换模型，且特征损失小。本文采用 pro-e 建立模型，从 Pro/E 到 ADAMS 的模型转换方法大致有两种：一是通过标准图形格式转换，即将 Pro/E 创建的模型存储为中性文件格式，然后通过 ADAMS 的图形接口模块 ADAMS/Exchange 导入仿真环境；二是使用 Pro/E 和 ADAMS 的专用数据接口模块 Mechanism/Pro。前者在传递过程中图形元素丢失过多，比如不可避免地产生丢面、破面的问题以及点线数据的丢失现象，所以一般不提倡采用。后者对于简单模型转换效果比较好，但在对复杂模型进行转换处理时，由于数据量庞大，往往会因读取路径缺失或错误而造成转换失败。由于本文采用的结构比较简单，因此采用第二种方法。

1. 汽车衡模型的建立

由于只对承载器作仿真，在建模中忽略汽车衡的底架、安装基础，限位等部件，主要建立承载器负责承载的构件，它主要包括：横梁、支撑型材、面板、传感器安装梁、传感器安装梁固定架。如图 3-5：



1-传感器安装梁固定架；2-传感器安装梁；3横梁。

图3-5 承载器横梁结构

Fig. 3-5 The structure of DTS section

承载器主梁有型材焊接和钢板焊接成箱体结构,使用箱体比较省料,但工艺要求高,极易发生扭曲变形,只有部分厂家采用。本文采用型材焊接方式,截面如图3-2。核算方式求得型材和面板的大致规格。

2. 其余部件建模

汽车分为车身、车轮等,路面用一个板代替。将承载器,汽车以及路面进行装配,完成后如图3-3。

3.3.2.3 三维模型倒入 ADAMS

安装和配置好Mechanism /Pro2005,当模型建立完成后,即可使用mechanism /pro2005将汽车衡的Pro-e模型转化为ADAMS模型,具体步骤如下:

1. 建立刚体

Mechanism→Rigid Bodies→Create→By Selection→Name,信息栏里面键入TDS,确认之后选择Add Component,模型树中选择所有零件。之所以选择By Selection而不使用Automatic是因为对于复杂系统,有些零件之间并没有相对运动,这时可将几个零件当作一个刚体进行仿真,不然还要添加Fix约束。刚体建立之后,点击Info,出现信息窗口,可以查看刚体信息。

2. 添加约束

利用Pro/E 建模时,装配总成一般是按照位置和功能划分为几个子装配体,每个子装配体又由若干个零部件组成,这样可以使整个模型层次分明,便于查找及修改。而在ADAMS 中进行的是动力学仿真,着重于部件之间的运动关系。因此,按照运动关系和研究目的将装配总成划分为几个刚体是有必要的。一个刚体可能只包含一个零件或部件,但是通常情况下,是包含有多个零部件的。定义由多个零部件组成的刚体的方法大致有两种:一种方法是采用“merge”命令将几个没有相对运动的零部件合并为一个零件,这样可以简化模型,提高仿真计算的速度,但是导入ADAMS 后,被合并的零部件将不能单独着色;另一种方法是在建立刚体时,点击“By Selection”选项,然后在模型树中选择没有相对运动的零部件,确定后就建立起了一个刚体。另外, Mechanism/Pro 还提供了自动生成刚体的功能。

利用Mechanism/ Pro 模块,将定义完刚体和一些简单约束后的模型转换至ADAMS 环境中时,可供选择的转换类型有两种:Render 和SLA。选择任意一种类型均可达到转换的目的,两种格式的不同之处在于:若选择Render 格式,将保留Pro/E环境中的设置的颜色信息,而选择SLA 格式将不会保留这些信息。转换过程结束后,每个零部件都将产生一个相关的保存图形几何信息的文件。选择

Render 格式时零件后缀名为. slp, 选择SLA 格式时零件后缀名为. stl。选择好转化模式后, 就可以将模型转化为ADAMS模型了。

3.3.2.4 柔性体建立

对模型动力学仿真中加入柔性体, 需要对被分析的构件进行有限元分析, 得到其固有频率和各阶振型, 通过模态中性文件(MNF)导入到 MD. ADAMS 中, 实现构件的柔性化。具体的步骤:

(1) 将承载器部件的 Parasolid 格式文件导入 MSC. Patran/Nastran, 采用四面体二阶单元行网格剖分如图 3-6。

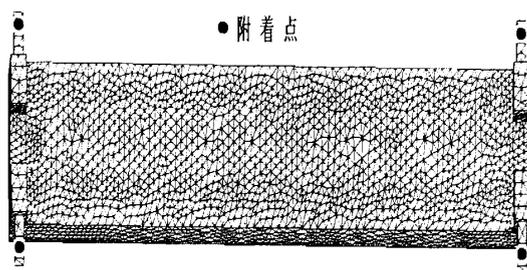


图 3-6 承载器的有限元模型

Fig. 3-6 Sketch of dynamic truck scale

定义好柔性件与其它构件的连接点(附着点), 在附着点附近选取适当数量的节点作为连接后力的作用点, 作用点的数量和位置根据模型精度的需要来选取。定义好材质的密度、弹性模量的参数后, 并保证单位于 ADAMS 的单位选取一致, 就可以生成模态中性文件(MNF)。

(2) 在 ADMAS/View 中, 采用 ADAMS/FLEX 模块, 将承载器柔性体单元代替原来的刚性体单元, 同时替换原来的约束关系。

3.3.3 ADAMS 仿真过程

3.3.3.1 约束关系的设定

将建立好的三维模型按顺序导入 ADAMS 中, 为了计算方便, 将承载器的几何中心和 ADAMS 的坐标原点重合, 分别设定相互的约束关系。

1. 各部分内部的约束关系

主要指承载器内部和简化汽车内部的约束关系, 路面采用一个薄板代替, 忽略路面的震动对系统的影响。

(1) 承载器型材与面板的约束关系:

承载体是由型材和面板焊接而成，故将整个承载器进行布尔运算，使得整个承载器成为一体，这样可以使承载器在柔性化的过程中工作量大大降低，且整个系统的准确性影响不大。

(2) 汽车和轮胎的约束关系：

由于汽车本身发动机震动和车身结构不同，将车身尺寸按常用的车型建立简化模型，使用带阻尼的弹簧模型汽车的减震结构，如图这样可以最大限度的模拟实际工况，又跟第二章的动态汽车衡的动力模型相一致。

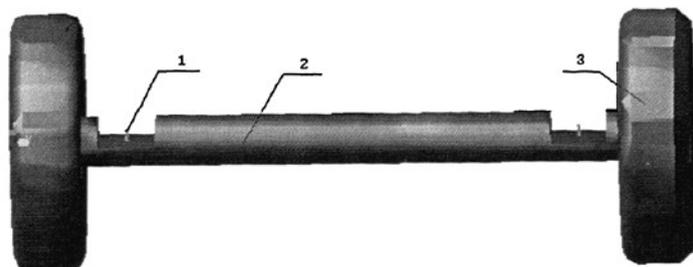


图 3-7 汽车轮组的简化模型

1. 连接弹簧, 2. 轮胎连接轴, 3. 轮胎

1. connected spring, 2. wheel and axleshaft, 3. tyre

Fig.3-7 Predigest model of the wheel and axle

2. 各部件的相互约束

主要有承载器与地面（ADAMS 默认的 ground.）、汽车与承载器、汽车与路面、路面与地面的约束关系。

(1) 承载器与地面（ground）

将承载器直接与地面采用球面约束，这样模拟承载器在传感器支撑作用下的四点简支作用。如图 3-8 所示：

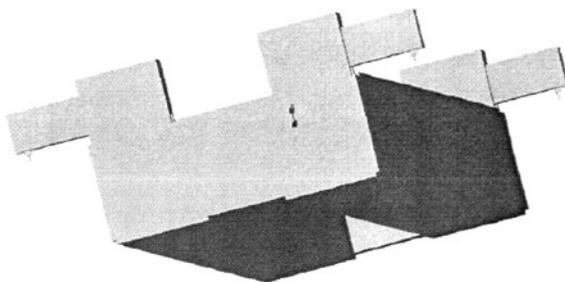


图 3-8 承载器与地面的约束

Fig.3-8 Restriction between the load receptor and the ground

(2) 汽车轮胎与承载器、路面的约束

在整个仿真过程中，汽车分别通过路面→承载器→路面，所以需要将汽车的轮胎分别同这些部件作接触（Contact）约束，参数如图 3-9 所示：

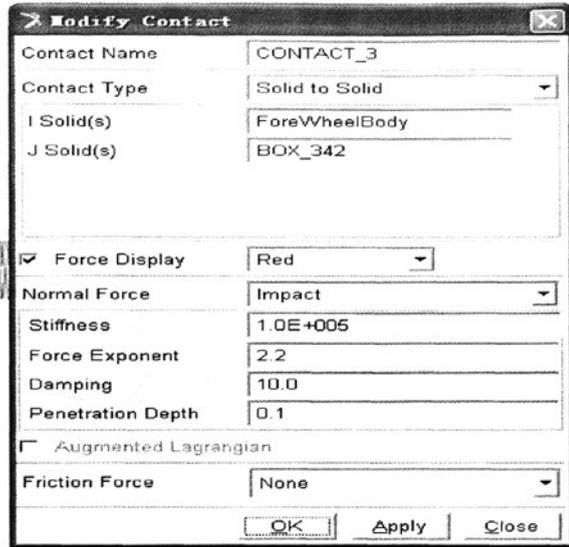


图 3-9 约束关系的设定

Fig.3-9 Frame for restriction settings

3.3.3.2 柔性体的导入

将按第 3.3.2.4 方法建立的柔性体导入 ADAMS 中，注意在 Pro-E、ADASM 和 Patran/ Nastran 中，长度单位和质量单位必须统一。选择保存 mnf 格式的文件，操作窗口如图 3-10。按需要填写参数。选择 Apply，就完成柔性体的导入。

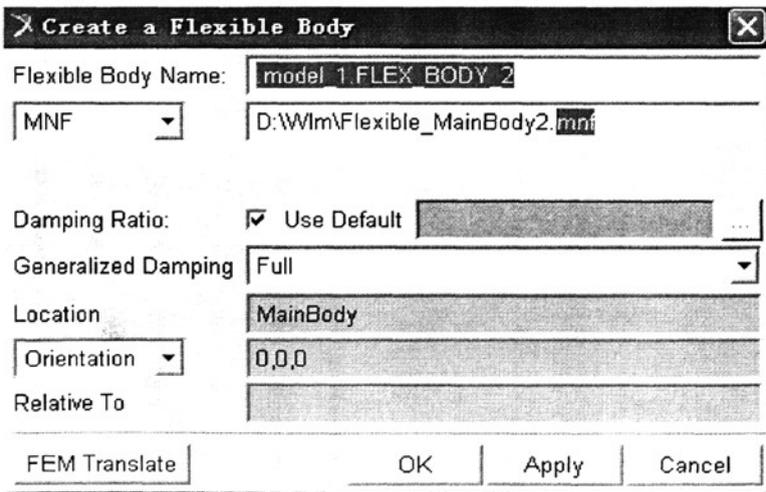


图 3-10 导入 MNF 文件

Fig.3-10 Input MNF file

在确认承载器柔性体正确无误后，使用柔性体代替原来的刚体结构，即原来与承载器刚体的约束，现在与柔性体约束，如它与地面的球面约束，替换作用在 3.3.2.4 节设定的 4 个附着点上，最后将刚体设定为 inactive。

3.3.3.3 仿真过程

在仿真前，需要设定汽车的速度，为了运算方便，直接设定中间轮作为主动轮，汽车车身和其余轮组和中间轮组保持相同的速度，使其保持稳定的运行。为了测定不同压力的影响，在汽车车厢内均布不同压力，压力方向竖直向下。

打开 ADAMS 仿真界面，如下图 3-11 所示，根据汽车运行的速度和位移设定方针时间和步数。并且可以进行分步仿真，保存和读取仿真的结果，



图 3-11 模拟控制对话框

Fig.3-11 Bar of simulation control

3.3.3.4 仿真结果与分析

仿真的目的主要是得到在整个过程中承载器对传感器作用，获得承载器在此过程中的形变。可以验证机械校核准确性，了解承载器应力和应变的变化趋势。（仿真并没有采用实际的运行速度，应在仿真中发现，速度过快回使得曲线极度变化，并不能体现出规律），结果如下：

1. 汽车载荷对承载器的影响

仿真过程采用通用的动态汽车衡承载器，4 支传感器支撑，承载器身长度

为 4m，宽度为 0.8m 示意模型如图所示，本次仿真过程车速大小取 1.5m/s，匀速。不同汽车载荷条件下，承载器的中心点的挠度输出曲线如图 3-13，承载器对称重传感器的作用力如图 3-14 所示。虚线、实线分别表示 25T、30T 载荷时候，承载器中心处的挠度输出。

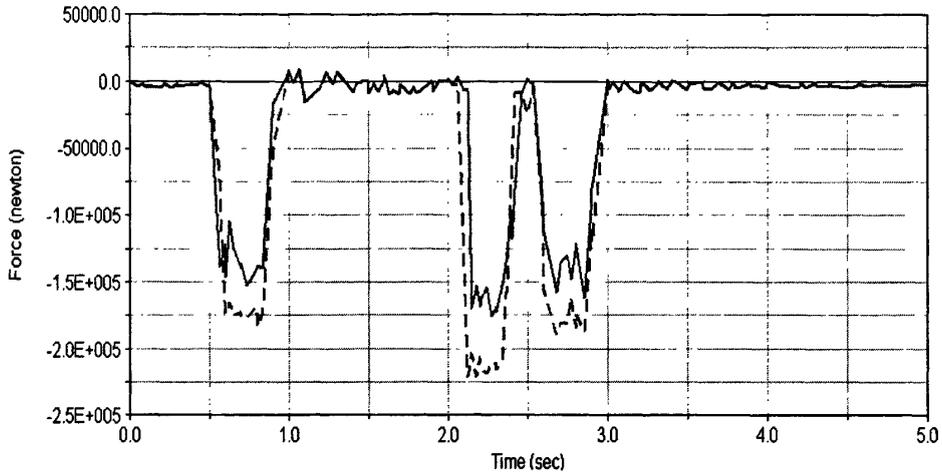


图 3-13 不同载荷下的挠度曲线

Fig. 3-13 Deflection curve in different load

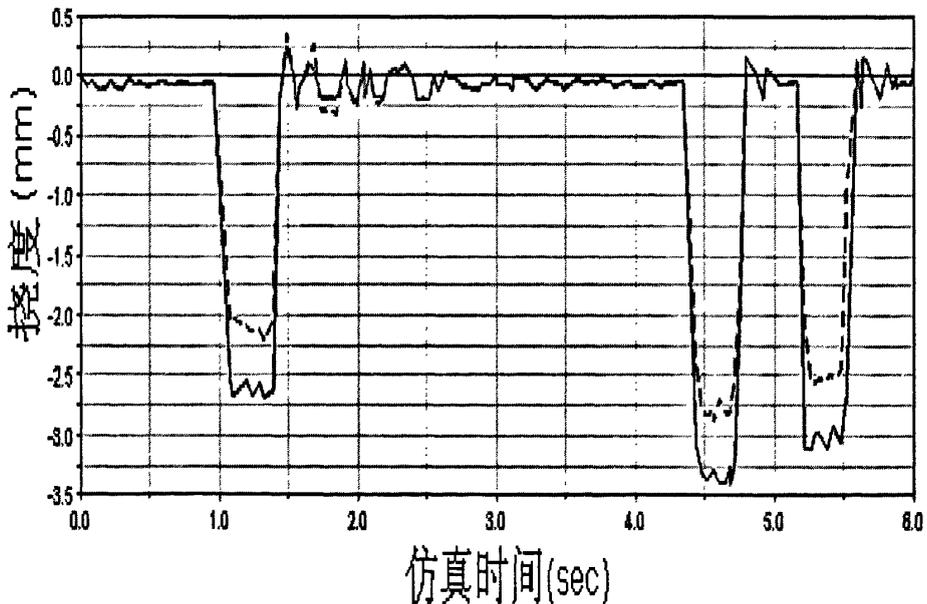


图 3-14 不同载荷下的对传感器的压力曲线

Fig.3-14 Force curve in different load

2. 汽车行驶速度对承载器的影响

在上文仿真的基础上，本次仿真采取相同汽车载荷 30T，而分别取不同速度时的仿真结果。考察速度对承载器挠度的影响。如果如图 3-15(其中的一个车轮通过的情形)，虚线，实线分别代表速度取 0.75m/s, 1.5m/s 时，承载器中心处的挠度输出。图 3-16 为传感器受到的压力。

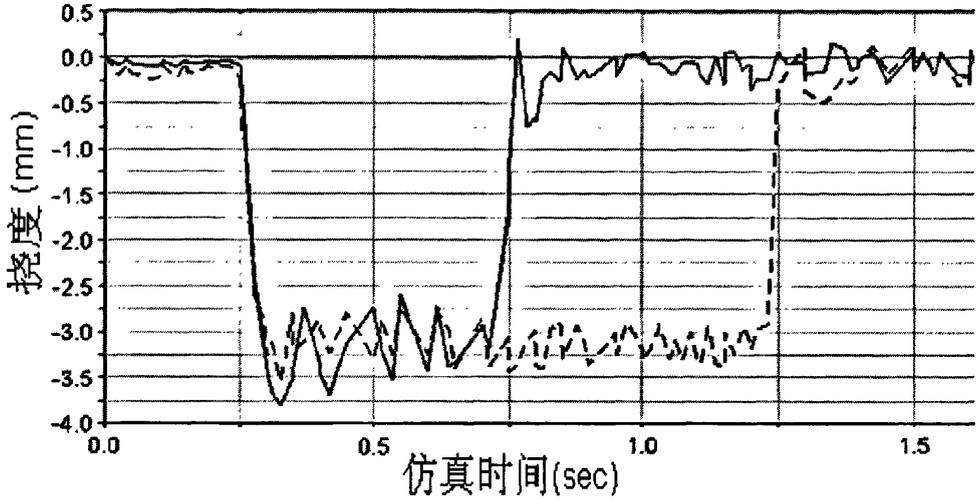


图 3-15 不同速度下的挠度曲线

Fig. 3-15 Deflection curve in different velocity

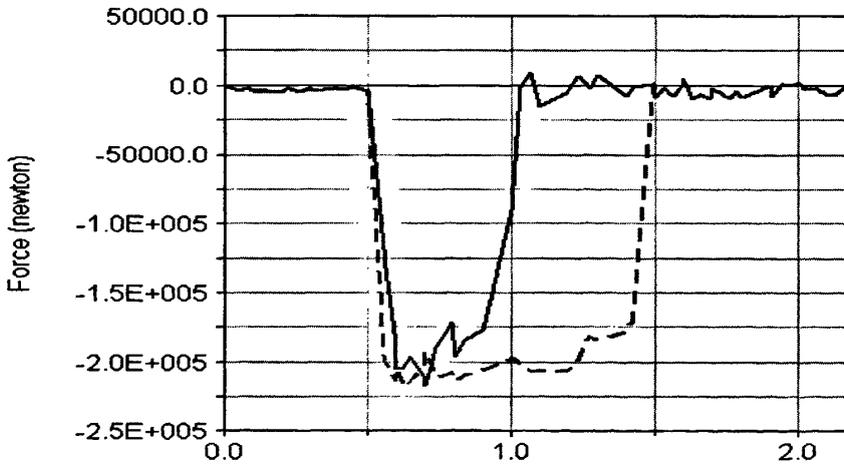


图 3-16 不同速度下的对传感器的压力曲线

Fig.3-16 Deflection curve in different velocity

小结:

承载器作为动态汽车衡核心机械部件,其结构要求不软不硬,即承载器在使用过程的挠度介于其本身长度的 1/1000 和 1/800 之间,即

$$w = L\left(\frac{1}{1000} \sim \frac{1}{800}\right)$$

应用机械系统动力学仿真软件 MD. ADAMS 及其柔性体模块,对承载器进行仿真,计算其在使用过程的最大挠度,进而得到承载器的最优化设计,并可根据不同实际需求,验证不同载荷和压力下承载器的挠度大小,方便了解产品特性和设计要求。可以缩短研发周期,达到事半功倍的效果。

第四章 动态汽车衡的数据处理方法

4.1 动态称重信号中的噪声和处理方法

4.1.1 高频信号的成因

行驶车辆经过动态汽车衡称重系统时,受到很多内在和外在因素的影响,如速度,物体的振动,质量分布的不均匀以及汽车在承载器上的加速或刹车等,例如汽车都对秤台产生冲击振动,使承载器的受力状态复杂化,导致称重的精度不高,此外环境的温度,湿度等自然因素也会对称重的精度产生一定的影响,它主要有(1)汽车自身因素引起的振动;(2)路面的不平度造成的振动;(3)汽车与地面的偶合产生的振动。必须对传感器采集到的这些信号进行相关的预处理,以便于后续进行的各种处理方法的实施,确保提取出正确的轴重信号^[18]。

动态称重信号中通常混杂着高频噪声,高频噪声的组成成分比较复杂,经过实验分析,高频噪声大致可以分成以下两个主要组成部分^[19]:

(1)检测系统自身产生的测量干扰。由于动态称重硬件平台中有传感器、放大器、A/D 转换电路,所以检测系统中不可避免的存在产生于这些电子元件的高频电信号的干扰。这种类型的信号干扰频率所在的频率范围都要远远高于称重信号的低频带,所以通过低通滤波可以滤除,对结果的精确度影响不大。

(2)汽车行驶中产生的电火花以及因周围工作环境造成的工频信号都会对汽车动态称重系统的测量信号产生高频干扰。此外车辆自身转动产生的高频干扰。车身会随着发动机的转动发生小幅度的转动,这种转动的幅度跟路面平整状况、载货量、车辆重心等都有很大的关系,车辆自身转动产生的干扰频率相对于检测系统自身产生的高频干扰的频率要低,但由于发动机转速一般都比较高,所以其频带还是高于动态称重有用信号的频带。

4.1.2 低频随机振动干扰的形成原理

轮重检测信号中除高频噪声外还有低频随机振动干扰,即低频干扰。引起汽车低频振动的主要因素有车速、车身振动、路面不平整度等,其中以后者为主^[19]。由于路面激励为近似的正弦(或余弦)谐波低频信号,振动频率范围约为3-20 Hz,载荷最大变化量可达静载的10%^[20],而且随着汽车通过速度的提高,其振动变化明显增大,因此如何消除低频干扰将是提高辨识精度的关键。低频

干扰的形成原理是复杂的，车辆的振动与路面的平整程度关系很大，但想要简单的通过平整路面来达到消除低频干扰的目的也是很难做到的，因为产生低频干扰的车身振动和车辆本身也是有很大关系的，轮胎的变形导致车辆即使在平整的路面上也会持续的振动，所以无法通过硬件上改进完全消除低频干扰的影响。

由于这些高频噪声和低频周期动态载荷，造成目前动态称重精度一直很难提高。进一步对车辆的结构分析^[21]：当行驶车辆经过承载器时，由于车辆减振弹簧以上部分发生振动，输出的轴重信号在一个恒定值上下波动，这个波动信号的频率与车辆的自重、载重以及弹簧的刚度等因素有关，大约为 2.5Hz-10Hz，振幅则与车辆的速度和路面状况有关，其峰-峰值一般为恒定分量的 10%左右，最大值甚至达到恒定分量的 20%。除了减振弹簧以上部分发生振动外，车辆减振弹簧以下部分与承载器同时也将发生振动，这个输出信号的频率和振幅与车辆的轮胎状况和承载器的特性有关，频率大约为 10Hz-20Hz，振幅大约为恒定分量的 5%左右。另外，通过对称重信号的功率谱进一步分析，可以看出称重信号的功率谱中具有一明显的峰值，其能量大部分集中在 50Hz 左右，说明动态称重信号中还夹杂着比较明显的 50Hz 工频干扰。

4.1.3 基于小波分解与重构的滤波方式

Mallat 算法在图像的分解与重构的塔式算法启发下，根据多分辨率理论，提出了小波分解与重构的快速算法，称为 Mallat 算法，

根据 Mallat 塔式分解算法，一个信号经多尺度分解后，实质上被分解为一个低频分量和各尺度下的高频分量之和，而这些高频分量中恰恰含有反映信号变化的信息特征。用公式可表示为 $S=A_N+\sum D_N$ ，具体如下图所示^{[23][24][25]}：

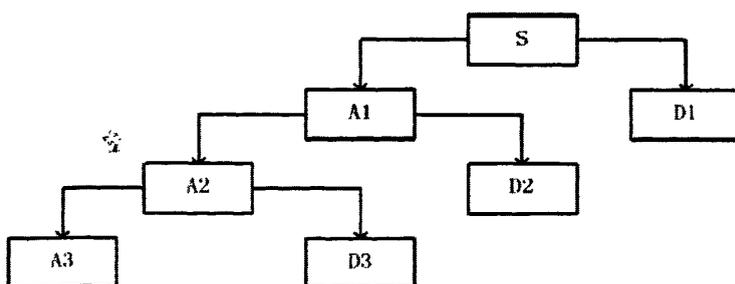


图 4-1 MALLAT 算法分解和重构图

Fig.4-1 MALLAT algorithm decomposition and reconstruction

由上式及图 4-1 可见,对系统输出信号 S ,采用多分辨率分解可获取信号的整体变化趋势分量 A_N (低频)和细节分量 D (高频)。处理过程是先将信号由高向低分解,分解到需要的频率后,将高频信号去除,然后将低频信号进行重构。

本文使用 MATLAB 提供的小波分解和重构的方法,用 $db3$ 作为小波基波来进行小波变换,进行去噪处理。为了获得较好的观测效果选择了 5 层小波分解并用第 5 层重构信号来进行观测。这是因为考虑到噪声的小波变换系数模值随着尺度的增大而减小,适当的选择层次高一点小波重构可以有效去除噪声特别是高频噪声的影响^{[26][27]}。

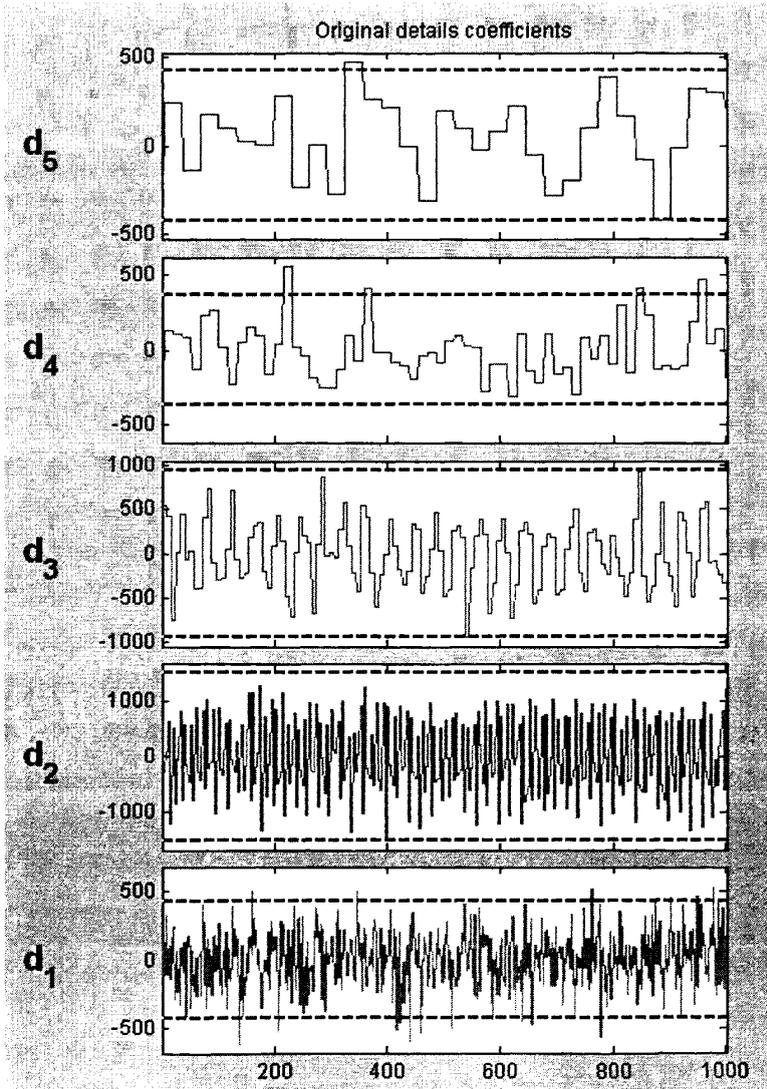


图 4-2 小波的 5 级分解

Fig.4-2 Level 5 decomposition of wavelet

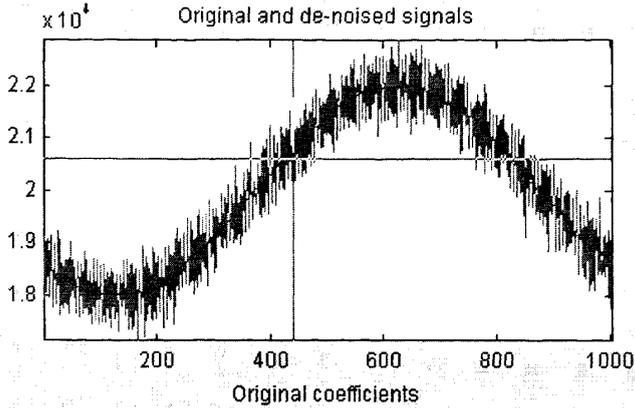


图 4-3 称重信号的重构

Fig. 4-3 Signal reconstruction of weight sign

4.2 基于参数估计的动态称重系统辨识

4.2.1 系统辨识算法概述

系统辨识是研究建立生产过程数学模型的一种理论和方法，辨识的目的是从含有噪声的输入输出数据中提取被研究对象的数学模型。即遵照某一种准则，在模型类中选择一个与实际的数据匹配的最好的模型。由于实际的系统往往不是理想的简单模型，因此想要完全精确的描述一个实际系统几乎是不可能的，而系统辨识的任务就是通过系统的输入输出数据，寻找一个与实际系统最匹配或者说最接近的模型，作为实际系统的近似模型^[18]。

近几十年来，系统辨识方法论已经取得了巨大的进展。系统辨识是在现代化控制论、数理统计以及随机过程等理论上发展起来的一门学科。它是研究如何用实验分析的方法，即通过运行或实验数据来建立被控对象(系统或过程)的数学模型的一门学科。早在 1962 年，扎德(Zadeh)对系统辨识作了如下定义：系统辨识是在输入和输出的基础上，从一类模型中确定一个与所测系统等价的模型^[28]。

这个定义指出了辨识的三大要素：数据、模型类和等价准则。系统模型的实质就是从一类模型(线性和非线性，...)中选择一个模型，按照某种准则，使之能最好地拟和被辨识系统的动态特性。

近年来，系统辨识技术的应用领域日益扩大，已超出工程和自然科学的范畴，在通信工程、航空航天工程、机械工程、地质学、经济学、生物学、医学以及工业自动测量、自动调节等方面都得到应用，成效日渐显著，它已发展成为近代系统理论的一个重要分支，不仅有理论意义，而且还具有重要的实际意

义。在研究动态称重时，通常的方法是同时或单独测出对象的加速度、位移与速度，然后用数值积分方法或直接方法求解称重过程的微分方程，以求得重量值。另一种方法则是把动态测量作为一个参数估计和预测问题来处理，即首先根据有关称重系统的先验知识，推导出一个含有未知参数的模型，然后用该模型去拟合称重过渡过程信号，从而获得最小平方误差意义上的参数估计^[27]。由于被测重量可以看成是称重过程的终值，它们可以用模型参数加以估计或预测出来。本文选用后一种方法。

4.2.2 系统辨识的步骤

一般说来，系统辨识的步骤可以分为以下几步^[28]：

(1) 先验知识和建模目的的依据。先验知识指关于系统运动规律、数据以及其他方面的已有知识。这些知识对选择模型结构、设计实验和决定辨识方法等都有重要作用。用于不同目的模型可能会有很大差别。

(2) 实验设计。辨识是从实验数据中提取有关系统信息的过程，设计实验的目标之一是要使所得到的数据能包含系统更多的信息。主要包括输入信号设计，采样区间设计，预采样滤波器设计等。

(3) 结构辨识。即选择模型类中的数学模型 M 的具体表达形式。除线性系统的结构可通过输入输出数据进行辨识外，一般的模型结构主要通过先验知识获得。

(4) 参数估计。知道模型的结构后，用输入输出数据确定模型中的未知参数。实际测量都是有误差的，所以参数估计以统计方法为主。

(5) 模型适用性检验。造成模型不适用主要有三方面原因：模型结构选择不当；实验数据误差过大或数据代表性太差；辨识算法存在问题。检验方法主要有利用先验知识检验和利用数据检验两类。

4.2.2 动态汽车衡系统建模

动态称重是车辆在行进中完成的，车辆的运动使传感器的受力是变化的，而且汽车在通过称重台面时，由于支撑刚度的变化以及道路不平激励会引发车辆自身的振动，而承载器的机械结构也将受到激励而产生振动，这样传感器的输出就会耦合以上各类振动信号，另外还有一些随机干扰信号，根据以上分析，轮胎与台面的作用力可分解为稳态分量轴重 N 和瞬态分量 $n(t)$ 和干扰信号 $E(t)$ ，则系统的输出信号： $F(t) = N + n(t) + E(t)$

建模中，将称体和汽车理想化为刚性板，系统系统模型如下图：

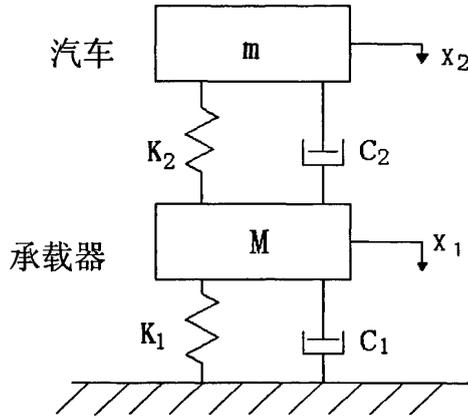


图 4-3 承载器动力学模型

Fig. 4-3 Model of load receptor

（具体参数类似图 2-7）

假定 m 受到的弹力 f_k 和阻尼力 f_d ，则 m 受到的弹簧和阻尼力的合力 $f(t)$ 有：

$$f(t) = f_d + f_k \quad (4-1)$$

由力学公式可知：

$$f_k = f_i k_i \quad i=1, 2; \quad (4-2)$$

$$f_d = C v = C \frac{dx}{dt} \quad (4-3)$$

对 m 做动力学分析的可得：

$$f(t) - mg = m \frac{d^2 x_2}{dt^2} \quad (4-4)$$

$$f(t) = k(x_2 - x_1) + c\left(\frac{dx_2}{dt} - \frac{dx_1}{dt}\right) \quad (4-5)$$

将(4-4)式代入(4-5)式可得：

$$m \frac{d^2 x_2}{dt^2} + k_2(x_2 - x_1) + c_2\left(\frac{dx_2}{dt} - \frac{dx_1}{dt}\right) = mg \quad (4-6)$$

同理，对 M 做动力学分析可得：

$$M \frac{d^2 x_1}{dt^2} + k_1 x_1 + c_1 x_1 = k_1(x_2 - x_1) + c_2\left(\frac{dx_2}{dt} - \frac{dx_1}{dt}\right) \quad (4-7)$$

对(6)和(7)作拉普拉斯变换，由系统初始条件是 $x_1(0^-) = x_2(0^-) = 0$ ；

$$x_1'(0^-) = x_2'(0^-) = 0;$$

$$ms^2x_2(s) + c_2s[x_2(s) - x_1(s)] + k_2[x_2(s) - x_1(s)] = mg/s \quad (4-8)$$

$$Ms^2x_2(s) + k_1x_1 + c_1sx_1 = c_2s[x_2(s) - x_1(s)] + k_2[x_2(s) - x_1(s)] \quad (4-9)$$

由(9)解得:

$$x_2(s) = \frac{(k_2 + c_2s)x_1(s)}{(ms^2 + k_2 + k_1 + c_1s + c_2s)} \quad (4-10)$$

将(4-10)式代入(4-8)式可解:

$$x_1(s) = \frac{k_2 + c_2s}{mMs^4 + (mc_2 + Mc_2 + mc_1)s^3 + (mk_2 + Mk^2 + mk_1 + c_1c_2)s^2 + (k_1c_2 + k_2c_1)s + k_1k_2} \quad (4-11)$$

取双边 Z 变换, 令 $S = \frac{2(Z-1)}{T(Z-1)}$ 代入(4-11)式, 化简可得^[28]:

$$x(z) = \frac{\sum_{i=0}^4 z^{-i} b_i}{\sum_{j=1}^3 a_j z^{-j} + 1} \quad (4-12)$$

$$\text{设 } y(z) = (1 - Z^{-N})x(z)$$

$$\text{根据差分方程有: } y(nT) = x(nT) - x[(n-N)T] \quad (4-13)$$

根据 z 变换终值定理可得:

$$\text{则汽车质量 (m)} = \lim_{n \rightarrow \infty} y(nT) = \lim_{z \rightarrow 1} y(z)(1 - z^{-1})C = \frac{Cb_0}{(\sum_{j=1}^3 a_j + 1)} \quad (4-14)$$

C: 汽车重量/传感器电压输出

采集数据后, 带入公式分别识别出 a_j, b_0 , 带入公式 4-14 就可以求出被测汽车的实际重量

4.2.3 递推辅助变量法(RIV)法

最小二乘法是一种基本的参数辨识方法, 尽管它只能在不含系统噪声的条件下使用, 但由此发展起来的广义小乘法、增广最小二乘法、辅助变量法等,

却可以用于含有不同噪声情况的实际系统。其中，以辅助变量法(IV)的算法最为简单，且可以适用于许多场合，当过程的残差为自相关时，仍能给出无偏估计值。算法的关键问题是如何构造辅助变量^{[30][31][32]}。

如果系统模型描述是：

$$A(z^{-1})z(k)=B(z^{-1})u(k)+v(k) \quad (4-15)$$

其中 $u(k)$ 和 $z(k)$ 表示过程的输入和输出， $v(k)$ 是零均值的有色噪声。由于 $v(k)$ 是有色噪声，直接利用最小二乘法不能获得模型参数的无偏一致估计，此时可用辅助变量法来获得。具体步骤如下：

将 (4-13) 式转化为标准的 ARX (1, 4, 1) 形式：

$$y(k) = -\sum_{j=1}^N a_j y(k-j) + \sum_{i=0}^M b_i u(k-i) + \varepsilon(k) \quad j=1,2, \dots, k$$

(4-16)

式中： $u(k)$ 为阶跃输入； $y(k)$ 为系统输出； $\varepsilon(k)$ 是零均值的有色噪声。

将 (6) 式转化为最小二乘结构，表示为：

$$\theta = [a_1, a_2, \dots, a_n, b_1, b_2, \dots, b_m]^T$$

$$\phi(k) = [-y(k-1), \dots, -y(k-n), u(k-1), \dots, u(k-m)]^T$$

$$y(k) = \phi^T(k)\theta + \delta(k) \quad (4-17)$$

$$\text{设 } e_N = [\varepsilon(1), \varepsilon(2), \dots, \varepsilon(N)]^T, \quad \Phi_N = [j(1), j(2), \dots, j(N)]^T, \quad y_N = [y(1), y(2), \dots, y(N)]^T$$

$$\text{式(4-17)可变换为: } y_N = \Phi_N \theta + E_N \quad (4-18)$$

则系统的最小二乘估计为：

$$\theta_{LS} = (\Phi_N^T \Phi_N)^{-1} \Phi_N^T y \quad (4-19)$$

构造一个辅助变量 Φ^* 满秩矩阵

$$\begin{cases} \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \Phi^{*T} e_N = 0 \\ \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \Phi^{*T} \Phi = Q \end{cases} \quad Q \text{ 为满秩矩阵}$$

则有辅助变量估值

$$\theta_{IV} = (\Phi^{*T} \Phi_N)^{-1} \Phi^{*T} y(N), \text{ 是关于 } \theta_{IV} \text{ 的无偏估计。}$$

辅助变量选择的原理如图 4-4：

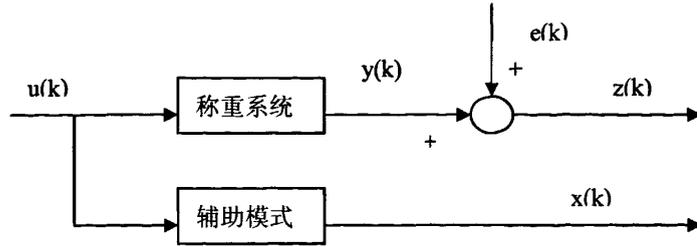


图 4-4 辅助变量结构图

Fig4-4 Structure of RIV

对于辅助变量矩阵 Φ ，实际应用中已经取得很好的结果的方案是用最小二乘法的估值 θ_{ls} 得出的模型的计算输出量代替 Φ 中的实测输出组成 Φ_n ，即：

$$\Phi_n = [-x(k-1), \dots, -x(k-n), u(k-1), \dots, u(k-n)]^T$$

其中： $x(k) = \Phi_n \theta_{ls}$

递推公式为：

$$\hat{\theta}(k) = \hat{\theta}(k-1) + K(k)[z(k) - \varphi^T(k)\hat{\theta}(k-1)] \quad (4-20)$$

$$K(k) = \frac{P(k-1)\phi^*(k)[\phi^T(k)P(k-1)\phi^*(k) - 1]^{-1}}{1 + \phi^T(k)P(k-1)\phi(k)} \quad (4-21)$$

$$P(k) = P(k-1)[1 - K(k)[\phi^*(k)]^T] \quad (4-22)$$

递推初值： $y(0) = y(-1) = \dots = y(1-n) = 0$

其中： $\varphi(N+1) = [-y(N), \dots, -y(N-n+1), u(N), \dots, u(N-n+1)]$

$$\text{识别出 } \hat{\theta}_{iv} = [\hat{a}_1, \hat{a}_2, \hat{a}_3, \hat{b}_0]^T \quad (4-23)$$

将识别出的参数带入公式：

$$m = \frac{C \hat{b}_0}{\sum_{j=1}^3 \hat{a}_j + 1} \text{ 即可得到汽车的质量。}$$

4.3 辅助变量法的实现

辅助变量算法分延迟输入和延迟输出，由于本例已知输出结果，故选用后者，首先选1步作为延迟信号^[31]：

$$y^T(k) = -y(k-l-1), \dots, -y(k-l-n_a), u(k-1), \dots, u(k-n_b) \quad (4-24)$$

作为辅助变量矩阵的基行，辅助变量矩阵为

$$\theta_N = \begin{bmatrix} -y(k-l-1) & \cdots & -y(k-l-n_a) & y(k-1) & \cdots & u(k-n_b) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ -y(k-l-2+N) & \cdots & -y(k-l-n_a-1+N) & y(k-2+N) & \cdots & u(k-n_b+N-1) \end{bmatrix}$$

这种方法又叫 Tally 法，优点是不必用一个模型来对 $u(k)$ 滤波也能解决一致性问题，但此法延迟步数 l 的确定对估计精度有影响。

对于称重系统， $u(k)$ 是个阶越函数，在计算过程中可选 1，而 $y(k)$ 是传感器采集的离散信号，它是数据处理的关键部分。本文使用 C++ 进行编程，使用 $y(k)$ 数据为经过 4.1.3 中除噪过后的信号，程序主要分数据读取，数据运算和保存现实结果几个部分。下表选用了部分数据，得到识别结果。

表 4-1 识别过程的结果

Table 4-1 The result of the DTS identification

| N | a0 | a1 | a2 | b0 |
|-------|----------|-----------|----------|----------|
| N:0 | 0.000000 | 0.000000 | 0.427742 | 0.277526 |
| N:1 | 2.546249 | 0.000000 | 1.214620 | 1.146540 |
| N:2 | 1.499991 | 0.5500021 | 0.274985 | 0.750064 |
| N:3 | 1.500040 | 0.620000 | 0.279998 | 0.500131 |
| N:4 | 1.480000 | 0.610000 | 0.261399 | 0.500278 |
| ... | ... | ... | ... | ... |
| N:112 | 1.500000 | 0.700000 | 0.999846 | 0.500159 |
| N:113 | 1.500000 | 0.700000 | 0.999843 | 0.500161 |
| N:114 | 1.500000 | 0.700000 | 0.999838 | 0.500166 |
| N:115 | 1.500000 | 0.700000 | 0.999835 | 0.500170 |
| ... | ... | ... | ... | ... |

通过计算可得结果:1.5 0.6 0.27 0.5。根据给定的 C 的值，就可得到被测汽车的重量。

第五章 收费系统与数据管理

收费系统的主要作用：实现与数据采集系统之间的通信、读取数据库信息、处理称重信息，完成收费并将信息保存到数据库内。按功能分五个模块：

(1) 数据库模块：使用网络式管理，区域甚至全国的数据共享，能够保存汽车的本身信息，称重历史和超载记录，有利于进行收费和处罚。

(2) 串口通讯模块：通过设置串口的通讯参数端口、波特数据位、停止位、奇偶校验和超时间隔，进行数据采集系统和计重收费模块的数据通信。

(3) 计重收费模块：收费人员的操作界面，连接其它各个模块的，并进行数据运算、显示和保存。是收费系统的核心模块。

(4) 管理修改模块：收费人员可以对称重时打印不成功或者计量有误的收费单进行重新打印，也可以修改参数已保证以适应计重收费的费率更改。

(5) 数据管理模块：可以备份更新数据库内容，预防错误的操作或者设备损坏致使计重收费的数据丢失，图 5-1 为系统的具体功能。

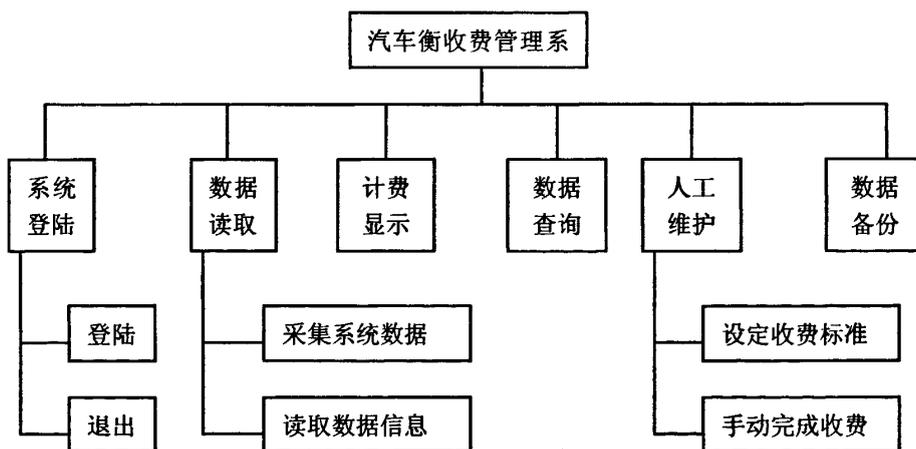


图 5-1 收费系统功能模块图

Fig. 5-1 Drawing of charge module

此为收费站台的管理系统，另外，收费站的总站一般有控制系统，监控收费系统地运行和与外部的数据交换，由于工作量关系，本文只完成了数据库存贮模块、串口通讯模块和计重收费模块这 3 个模块，下面分别介绍这三个模块的内容。

5.1 数据库模块

5.1.1 数据库简介

数据库是存储在一起的相关数据的集合, 这些数据是结构化的, 无有害的或不必要的冗余, 并为多种应用服务; 数据的存储独立于使用它的程序; 对数据库插入新数据, 修改和检索原有数据均能按一种公用和可控制的方式进行。数据库通常都提供了最可靠、伸缩性最大和最安全的数据存储。

本文采用微软的 Access 作为开发数据库平台, Microsoft® Office Access 2003 是一种数据库管理程序, 可赋予更佳的用户体验, 并且新增了导入、导出和处理 XML 数据文件等功能。由于该程序可以识别和标记常见错误, 同时提供更正错误的选项, 因此在 Access 2003 中工作变得更加轻松自如。另外, Access 2003 的新功能还可以帮助数据库开发人员查看有关数据库对象之间相关性的信息。与其它数据库管理系统软件相比, Access 具有以下优点 [39]:

(1) 储存文件单一, Access 的一个图形数据库文件中包含了该图形数据库中的全部数据表、查询及其它与之相关的东西, 文件单一便于计算机硬盘上的文件管理。

(2) 使用简便, 用户无需了解太多的编程语言, 就可以轻松地设计和开发图形数据库应用程序。

(3) 可以处理多种数据信息, 例如文本文件以及其它一些图形数据库文件。

(4) 数据的共享性, 数据库中不同分类下存在大量重复的信息, 使用 Access 可以统一管理这些信息, 减少冗余度, 共享性还可以允许多个用户同时使用图形数据库中的数据, 甚至是同一个数据。

(5) Access 采用面向对象的方式将数据库中的各项功能对象化, 将数据管理的常用功能封装在各类对象的方法或属性中, 通过对象的方法和属性来完成对数据库管理和操作, 从而简化了开发工作。

(6) 数据库的安全性, 数据库记录的信息并不是所有的人都有权查看、修改, 应根据用户的职责及需要把他们的权利分成若干等级, 不同级别的人对图形数据库的使用有着不同的权限。

Access 是一个可视化工具, 是风格与 Windows 完全一样, 用户想要生成对象并应用, 只要使用鼠标进行拖放即可, 非常直观方便。其基于 Windows 操作系统下的集成开发环境, 在该环境中集成了各种向导和生成器工具, 极大地提高了开发人员的工作效率。

在 ACCESS 数据库中, 使用不同类型的数据库对象对应现实中的实体, 它包

含有分别是“表”、“窗体”、“查询”、“报表”、“页”、“宏”、“模块”七大类。本文主要使用“表”对象和“查询”对象，以下分别介绍：

(1) 表

是 Access 数据库中最基本的对象，它是各种数据对象存储的地方，表，其它对象使用的数据均来自表，表分为本地表和链接表，存储在当前数据库的表称为本地表，存储到其他其它数据库的表称为连接表。

(2) 查询

用户预定义 SQL 语句，使用 SELECT、UPDATE 等命令，可以在表中查找符合条件的对象，实现遍历、更新、修改或删除等功能。其他对象，如窗体、报表宏对象，都要使用的查询对象。

5.1.2 称重系统数据库的建立

当操作者登陆系统确认自己的身份后获取操作权限，通过车牌识别系统和分车器等系统获得被测车辆车牌号，轮胎类型等车辆本身属性，完成称量过程，由计费系统计算出费用，保存本次测量信息，对于以前已经通过本系统测量的，可由历史数据读出车辆以前的称量纪录，可以对累次超载超限的车辆进行加罚处理等。具体的逻辑关系如图 5-2。

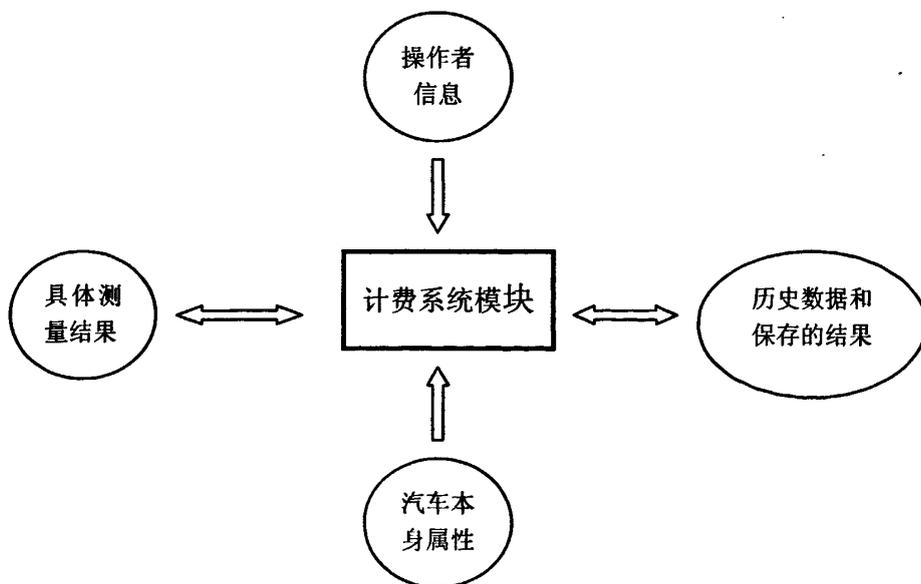


图 5-2 数据图模块与计费系统模块的关系图

Fig 5-2 Relation database model and charge model

根据各组数据的特性确定各数据的数据类型和长度等属性，将上述数据在 ACCESS 中建立对应表单，由于篇幅所限，选取主要的几组数据。结果如下：

表 5-1 车辆的基本信息 (CarInfo)

Table 5-1 Basic info of car

| 属性 | | 表名称 | | | |
|----|--------------|--------|------------|----|------|
| 序号 | 字段 ID | 说明 | 类型 (长度) | 备注 | NULL |
| 1 | Car_IdNumber | 车 ID 号 | Char (20) | 主键 | |
| 2 | Car_Number | 车牌号 | Char (20) | | |
| 3 | Car_Capacity | 车容积 | NUMBER(20) | | |
| 4 | Car_Weight | 车净重 | NUMBER(20) | | |

表 5-2 操作者信息 (Userinfo)

Table 5-2 Info of User

| 属性 | | 表名称 | | | |
|----|-----------|-------|-----------|----|------|
| 序号 | 字段 ID | 说明 | 类型 (长度) | 备注 | NULL |
| 1 | Id | 操作者编号 | CHAR (10) | 主键 | |
| 2 | Name | 操作者姓名 | CHAR (20) | | |
| 3 | Privilege | 权限 | NUMBER(1) | | |
| 4 | Password | 密码 | CHAR (20) | | |

表 5-3 称量过程参数 (ShaftInfo)

Table 5-3 parameter of weighing process

| 属性 | | 表名称 | | | |
|----|-------------------|------|------------|----|------|
| 序号 | 字段 ID | 说明 | 类型 (长度) | 备注 | NULL |
| 1 | Shaft_IdNumber | 轴序号 | CHAR (20) | 主键 | |
| 2 | Shaft_Type | 轴类型 | CHAR (2) | | |
| 3 | Tyre_Type | 轮胎类型 | NUMBER(1) | | |
| 4 | Shaft_Weight | 轴重 | NUMBER(20) | | |
| 5 | Shaft_WeightLimit | 轴限重 | NUMBER(20) | | |

表 5-4 称量历史(CarWeightHistory)

Table 5-4 Info of the car history

| 属性 | | 表名称 | | | |
|----|----------------|------|------------|----|------|
| 序号 | 字段 ID | 说明 | 类型 (长度) | 备注 | NULL |
| 1 | Log_id | 记录编号 | CHAR (20) | 主键 | |
| 2 | Log_Weight | 总重 | NUMBER(20) | | |
| 3 | Log_OverWeight | 超重 | NUMBER(20) | | |
| 4 | Log_Fee | 应收费用 | NUMBER(20) | | |
| 5 | Log_Date | 操作日期 | DATE | | |

5.1.3 动态称重数据库访问

在数据库与程序的通信中，通常可选择 ODBC API、ODBC、OLE DB、ADO 作为接口进行数据的操作。本文选取 ADO，它的优点是易于使用、速度快、内存支出少和磁盘遗迹小。ADO 在关键的应用方案中使用最少的网络流量，并且在前端和数据源之间使用最少的层数，所有这些都是为了提供轻量、高性能的接口。

5.1.3.1 ADO 介绍

ADO 库包含三个基本接口：ConnectionPtr 接口、CommandPtr 接口和 RecordsetPtr 接口。

ConnectionPtr 接口返回一个记录集或一个空指针。通常使用它来创建一个数据连接或执行一条不返回任何结果的 SQL 语句，如一个存储过程。使用 ConnectionPtr 接口返回一个记录集不是一个好的使用方法。对于要返回记录的操作通常用 RecordserPtr 来实现。而用 ConnectionPtr 操作时要想得到记录条数得遍历所有记录，而用 RecordserPtr 时不需要。

CommandPtr 接口返回一个记录集。它提供了一种简单的方法来执行返回记录集的存储过程和 SQL 语句。在使用 CommandPtr 接口时，你可以利用全局 ConnectionPtr 接口，也可以在 CommandPtr 接口里直接使用连接串。如果你只执行一次或几次数据访问操作，后者是比较好的选择。但如果你要频繁访问数据库，并要返回很多记录集，那么，你应该使用全局 ConnectionPtr 接口创建一个数据连接，然后使用 CommandPtr 接口执行存储过程和 SQL 语句。

RecordsetPtr 是一个记录集对象。与以上两种对象相比，它对记录集提供了更多的控制功能，如记录锁定，游标控制等。同 CommandPtr 接口一样，

它不一定要使用一个已经创建的数据连接，可以用一个连接串代替连接指针赋给 `_RecordsetPtr` 的 `connection` 成员变量，让它自己创建数据连接。如果你要使用多个记录集，最好的方法是同 `Command` 对象一样使用已经创建了数据连接的全局 `_ConnectionPtr` 接口，然后使用 `_RecordsetPtr` 执行存储过程和 SQL 语句。

5.1.3.2 ADO 接口在程序中的引用

首先，要用 `#import` 语句来引用支持 ADO 的组件类型库 (*.tlb)，其中类型库可以作为可执行程序 (DLL、EXE 等) 的一部分被定位在其自身程序中的附属资源里，如：被定位在 `msado15.dll` 的附属资源中，只需要直接用 `#import` 引用它既可。可以直接在 `Stdafx.h` 文件中加入下面语句来实现：

```
#import "c:\program files\common files\system\ado\msado15.dll" \
    no_namespace \
    rename ("EOF", "adoEOF")
```

其次，打开数据库并设定 ADO 指针函数在程序初始过程中需要初始化组件，一般可以用 `CoInitialize(NULL)`；来实现，这种方法在结束时要关闭初始化的 COM，可以用下面语句 `CoUnInitialize()`；来实现。在 MFC 中还可以采用另一种方法来实现初始化 COM，这种方法只需要一条语句便可以自动为我们实现初始化 COM 和结束时关闭 COM 的操作，语句如下所示：`AfxOleInit()`；

接着，就可以直接使用 ADO 的操作了。我们经常使用的只是前面用 `#import` 语句引用类型库时，生成的包装类 `.tlh` 中声明的智能指针中的三个，它们分别是 `_ConnectionPtr`、`_RecordsetPtr` 和 `_CommandPtr`。`_ConnectionPtr` 智能指针，通常用于打开、关闭一个库连接或用它的 `Execute` 方法来执行一个不返回结果的命令语句(用法和 `_CommandPtr` 中的 `Execute` 方法类似)。

打开一个库连接。先创建一个实例指针，再用 `Open` 打开一个库连接，它将返回一个 `Unknown` 的自动化接口指针。代码如下所示：

```
_ConnectionPtr    m_pConnection;
// 初始化 COM, 创建 ADO 连接等操作
AfxOleInit();
m_pConnection.CreateInstance(__uuidof(Connection));
try
{
    m_pConnection->Open("Provider=Microsoft.Jet.OLEDB.4.0;Data
    Source=WIMData.mdb","","",adModeUnknown);
}
```

```
catch (_com_error e)
{
    AfxMessageBox("数据库连接失败, 确认数据库 WIMData.mdb 是否在当前路径下!");
    return FALSE;
}
```

如果在测试过程中没有报错, 则说明程序与数据库已经成功地建立连接, 以使用命令对数据库进行处理, 具体将在界面中介绍。

5.2 串口通信 (Serial Communication Port) 模块

串行通信是把传输的数据一位一位的顺序传递的一种通信方式。因其需要的数据线少, 传送距离长、可靠性高而广泛用于大量的外设与计算机之间的通信, 串行通信的优势: 用于通信的线路少, 因而在远距离通信时可以极大地降低成本, 适合于远距离数据传送, 也常用于速度要求不高的近距离数据传送。

5.2.1 串口编程简介

应用 VC++ 开发串行通信目前通常有如下几种方法: (1) 是利用 Win32 API 通信函数; (2) 是利用 VC 的标准通信函数 `_inp`、`_inpw`、`_inpd`、`_outp`、`_outpw`、`_outpd` 等直接对串口进行操作; (3) 使用 Microsoft Visual C++ 的通信控件 (MSComm); (4) 是利用多线程串口通信编程。

本文采用 MSComm 控件来进行串端口传输和接收数据, 为应用程序提供串行通讯功能。MSComm 控件在串口编程时非常方便, 程序员不必去花时间去了解较为复杂的 API 函数, 使用简单, 又能减少初始化对象时的工作量。Microsoft Communications Control (以下简称 MSComm) 是 Microsoft 公司提供的简化 Windows 下串行通信编程的 ActiveX 控件, 它为应用程序提供了通过串行接口收发数据的简便方法。

5.2.2 MSComm 控件串口通信过程

5.2.2.1 串口通信编程的步骤

(1) 在当前的 Workspace 中插入 MSComm 控件

在 VC 环境下, 创建基于对话框的 MFC 应用程序, 在设置项目选项时必须选

上 ActiveX Controls, 其他的按照缺省设置。然后进行以下步骤: Project 菜单→Add to Project→Components and Controls→Registered ActiveX Controls→选择 Components: Microsoft Communications Control, version 6.0 插入到当前的 Workspace 中。结果添加了类 CMSComm(另有相应文件: mscomm.h 和 mscomm.cpp)。

(2) 在 MainFrm.h 中加入 MSCComm 控件

```
protected:
    CMSComm m_ComPort; //创建对象
    在 Mainfrm.cpp:: OnCreate() 中加入:
    DWORD style=WS_VISIBLE|WS_CHILD;
    if(!m_ComPort.Create(NULL, style,
    CRect(0, 0, 0, 0), this, ID_COMMCTRL)){
    TRACE0(“Failed to create OLE Communications Control\n”);
    return-1; //创建失败}
```

(3) 初始化串口

以下是通过设置控件属性对串口进行初始化的实例:

```
m_ComPort.SetCommPort(1); //指定串口号
m_ComPort.SetInBufferSize(1024); //设置输入缓冲区的大小, Bytes
m_ComPort.SetOutBufferSize(512); //设置输出缓冲区的, Bytes,
if(!m_ComPort.GetPortOpen()); //打开串口
m_ComPort.SetPortOpen(TRUE); //打开通信口
m_ComPort.SetInputMode(1); //设置输入方式为二进制方式
m_ComPort.SetSettings(“9600, n, 8, 1”); //设置波特率等参数
m_ComPort.SetRThreshold(1); //为 1 表示有一个字符引发一个事件
m_ComPort.SetInputLen(0);
```

(4) 捕捉串口事件

MSCComm 控件可以采用轮询或事件驱动的方法从端口获取数据。比较常用的是事件驱动方法: 有事件(如接收到数据)时通知程序。在程序中需要捕获并处理这些通讯事件。

(5) 串口读写

完成读写的两个函数的原型是 VARIANT GetInput(); 及 void SetOutput(const VARIANT & newValue); 都要使用 VARIANT 类型。首先由函数 GetInBufferCount() 检查串口接收到的字符数, 然后由 GetInput() 函数读取这些已接收的字节。用 SetOutput 函数将数据从串口发送出去。

5.2.2.2 串口通信的主要参数

Commport: 设置或返回串口号。

Settings: 以字符串的形式设置或返回串口通信参数。

Portopen: 设置或返回串口状态。

InputMode: 设置或返回接收数据的类型。

Inputlen: 设置或返回一次从接收缓冲区中读取字节数。

InBufferSize: 设置或返回接收缓冲区的大小, 缺省值 1024

InBufferCount: 设置或返回接收缓冲区中等待计算机接收的字符数。

Input: 从接收缓冲区中读取数据并清空该缓冲区, 该属性设计时无效, 运行时只读。

OutBufferSize: 设置或返回发送缓冲区的大小, 缺省值为 512 字节。

OutBufferCount: 设置或返回发送缓冲区中等待计算机发送的字符数。

Output: 向发送缓冲区发送数据, 该属性设计时无效, 运行时只读。

Rthreshold: 该属性为一阈值。当接收缓冲区中字符数达到该值时, MSComm 控件设置 **Commevent** 属性为 **ComEvReceive**, 并产生 **OnComm** 事件。用户可在 **OnComm** 事件处理程序中进行相应处理。若 **Rthreshold** 属性设置为 0, 则不产生 **OnComm** 事件。例如用户希望接收缓冲区中达到一个字符就接收一个字符, 可 **Rthreshold** 设置为 1。这样接收缓冲区中接收到一个字符, 就产生一次 **OnComm** 事件。

Sthreshold: 该属性亦为一阈值。当发送缓冲区中字符数小于该值时, MSComm 控件设置 **Commevent** 属性为 **ComEvSend**, 并产生 **OnComm** 事件。若 **Sthreshold** 属性设置为 0, 则不产生 **OnComm** 事件。要特别注意的是仅当发送缓冲区中字符数小于该值的瞬间才产生 **OnComm** 事件, 其后就不再产生 **OnComm** 事件。例如 **Sthreshold** 设置为 3, 仅当发送缓冲区中字符数从 3 降为 2 时, MSComm 控件设置 **Commevent** 属性为 **ComEvSend**, 同时产生 **OnComm** 事件, 如发送缓冲区中字符始终为 2, 则不会再产生 **OnComm** 事件。这就避免了发送缓冲区中数据未发送完就反复发生 **OnComm** 事件。

CommEvent: 这是一个非常重要的属性。该属性设计时无效, 运行时只读。一旦串口发生通信事件或产生错误, 依据产生的事件和错误, MSComm 控件为 **CommEvent** 属性赋不同的代码, 同时产生 **OnComm** 事件。用户程序就可在 **OnComm** 事件处理程序中针对不同的代码, 进行相应的处理。

5.2.3 称重系统串口程序的编程

5.2.3.1 称重串口通信的过程

称重系统串口通信的主要功能是进行程序界面与数据采集系统的数据通信，主要任务是传输经由采集系统处理后的称重数据，此外，还传输车牌识别器，分车器等信息。是整个计重收费软件系统的主要部分。它的主要设计过程如下：

1. 导入 MSComm 控件

在 VC 环境下，创建基于对话框的 MFC 应用程序（MSComm 只能基于对话框界面使用，不能在单文档和多文档框架中使用。），将 MSComm 控件拖入对话框中，如图 5-2，同时在 MainFrm.h 中加入 MSComm 控件的对象 CMSComm m_ComPort，在 Mainfrm.cpp 初始化后，就可以设置 MSComm 的参数了。

2. MSComm 的初始化

主要是建立计算机与数据采集系统的连接，并设定传输协议，如 Buffer 长度，波特率等，

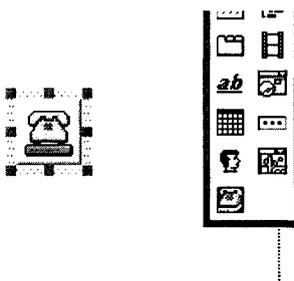


图 5-3 控件 MSComm

Fig 5-3 MSComm added

```
int CDialog2::OnCreate(LPCREATESTRUCT lpCreateStruct)
{
    if (CDialog::OnCreate(lpCreateStruct) == -1)
        return -1;
    m_MSComm.Create(NULL, 0, CRect(0, 0, 0, 0), this, IDC_MSCOMM1);
    if(m_MSComm.GetPortOpen()) //如果串口是打开的，则行关闭串口
        m_MSComm.SetPortOpen(FALSE);
    m_MSComm.SetCommPort(1);           //选择 COM2
    m_MSComm.SetInBufferSize(1024);   //接收缓冲区
    m_MSComm.SetOutBufferSize(1024);  //发送缓冲区
}
```

```

m_MSComm.SetInputLen(0); //设置当前接收区数据长度为0,表示
全部读取
m_MSComm.SetInputMode(1); //以二进制方式读写数据
m_MSComm.SetRThreshold(5); //接收缓冲区有5个及5个以上字符
时,将引发接收数据的OnComm事件
m_MSComm.SetSettings("9600,n,8,1"); //波特率:9600,无检验
位,8个数据位,1个停止位
if(!m_MSComm.GetPortOpen()) //如果串口没有打开则打开
    m_MSComm.SetPortOpen(TRUE); //打开串口
else
    AfxMessageBox("Open Serial Port Failure!");
m_MSComm.GetInput();

```

3. 引入参数并进行通信

在MFC串口通信对话框中,引入变量m_strEditRXData、m_strEditTXData、和m_MSComm变量,如图5-4

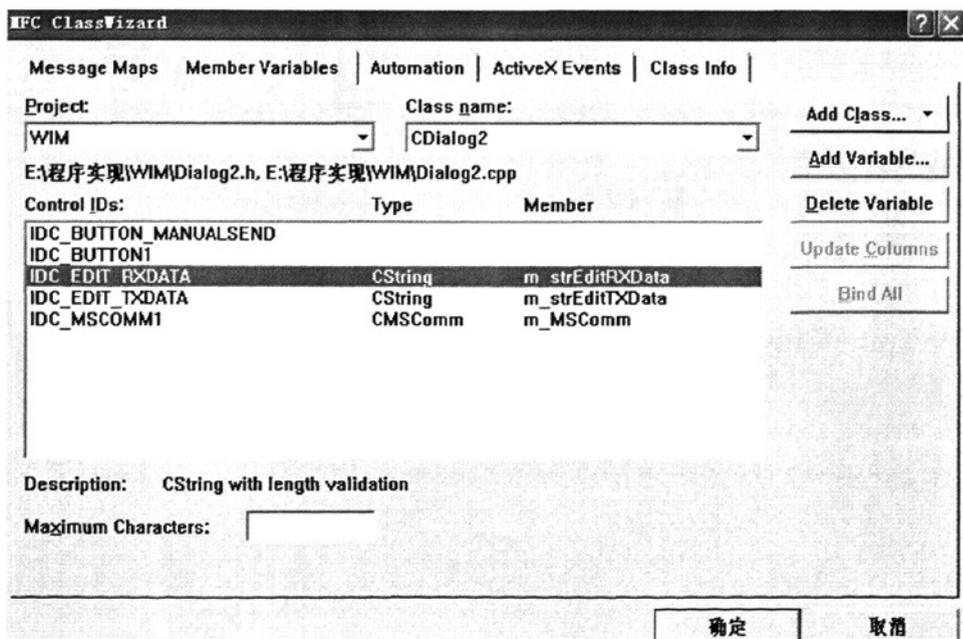


图 5-4 添加通信变量

Fig 5-4 Communications variable Added

引入变量后,就可以进行通信了,在串口通信中,所有的变量都要通过转换为 VARIANT 数据类型,传输后按要求转化为原来的格式,转化代码:

```

    VARIANT variant_inp;
    COleSafeArray safearray_inp;
    LONG len, k;
    BYTE rxdata[2048]; //设置 BYTE 数组
    CString strtemp;
    if(m_MSComm.GetCommEvent()==2) //事件值为 2 表示接收缓冲区内有字符
    {
        variant_inp=m_MSComm.GetInput(); //读缓冲区
        safearray_inp=variant_inp; //VARIANT 型变量转换为
        ColeSafeArray 型变量
        len=safearray_inp.GetOneDimSize(); //得到有效数据长度
        for(k=0;k<len;k++)
            safearray_inp.GetElement(&k, rxdata+k); //转换为 BYTE 型数组
        for(k=0;k<len;k++) //将数组转换为 CString 型变
        量
        {
            BYTE bt=(char*)(rxdata+k); //字符型
            strtemp.Format("%c", bt); //将字符送入临时变量
            strtemp 存放
            m_strEditRXData+=strtemp; //加入接收编辑框对应字符串
        }
    }

```

最后，将部分需要的数据存入数据库中，在需要时读取，核心代码如下：

```

m_pRecordset->AddNew(); //添加新记录
m_pRecordset->PutCollect("id", _variant_t(m_strEditRXData));
m_pRecordset->PutCollect("name", _variant_t(m_1));

```

4. 关闭端口

在数据通信完毕后，断开网络联接获等待信号，进行下次传输。

5.3 计重收费界面编程

计重收费模块是整个收费系统和数据交换的核心模块，它需要起到同操作者人机对话的功能、与其他模块进行数据交换、称重数据管理和最终显示和打印的功能，本文采用 Visual C++6.0 作为开发平台，它功能强大、使用方便和界面友好，并且基于 Visual C++ 6.0 的 MFC 对数据库和串口通信有很好支持，

操作极其方便。

5.3.1 Visual C++6.0 介绍

Visual C++是一个开发工具包，它可以分成三个主要的部分^[40]

1. Developer Studio

这是一个集成开发环境，我们日常工作的 99%都是在它上面完成的，它为我们提供了一个很好的编辑器和很多 Wizard，但实际上它没有任何编译和链接序的功能，而且它也并不是专门用于 VC 的，它也同样用于 VB, VJ, VID 等 Visual Studio 家族的其他开发工具。所以我们可以说 Developer Studio 只是 Visual C++的一个外壳。

2. MFC

其实，MFC 也不是专用于 Visual C++的，Borland C++，C++Builder 和 Symantec++同样可以处理 MFC。不过，由于 Visual C++本来就是为 MFC 打造的，Visual C++中的许多特征和语言扩展也是为 MFC 而设计的，所以用 Visual C++而不用 MFC 就等于抛弃了 Visual C++中很大的一部分功能。但是，Visual C++也不完全等同于 MFC。

3. Platform SDK

Platform SDK 是 Visual C++和整个 Visual Studio 的精华和灵魂，虽然我们很少能直接接触到它。大致说来，Platform SDK 是以 Microsoft C/C++编译器为核心，配合 MASM，辅以其他一些工具和文档资料。上面说到 Developer Studio 没有编译程序的功能，这些编译工作都是由 CL、NMAKE 和其他许许多多命令程序来完成的，这些我们看不到的程序才是构成 Visual Studio 的基石。

目前，Windows 作为多窗口，多任务的软件系统已成为操作系统得主流。它用户界面友好，操作简便；独立于设备，使软件的兼容性强；支持多任务多道作业，使机器效率显著提高；提供保护方式的内存管理，使系统运行空间扩大；同时，它采用消息驱动，应用程序之间用消息通信，使接口实现方便；其以 C、C++为基础，在编译、联结后有快速的执行速度。

5.3.2 计重收费界面编程原则

程序界面设计是实现人机对话的重要组成部分。设计一个高质量的界面，不仅能使系统美观，更主要的能使操作者使用方便，便于管理，避免一些操作带来的严重后果。在设计程序界面时，必须满足以下要求：

1. 实用化

在设计时，不要过分追求内容的全面，避免包罗万象和应有尽有，应该最重要的功能编辑进去，满足实用的目的。

2. 简便化

在设计时，不要冗长繁杂，力求简明扼要，满足操作者快速准确收费的需求，同时方便数据的管理和保存。

3. 直观化

方便人机对话，使操作者能够直观的进行操作，被测汽车司机也能方便的了解自己汽车的状态和收费内容。

4. 条理化

是操作员按照屏幕提示一步一步地进行操作直到准确无误。

5.3.3 计重收费界面编程

计重收费系统的工作过程和收费界面要完成的功能在前言中已作了比较详细的归纳。总结起来大致有：数据库数据的读存、完成个与数据采集系统串口通信、收费界面。串口通信和数据库读存已经介绍的比较详细，现对界面的设计过程和功能作简单的介绍。

整个程序是基于 MFC 对话框编程的，它提供对串口数据传输，ADO 接口对数据库方便的读存，收费的主界面如图 5-5。

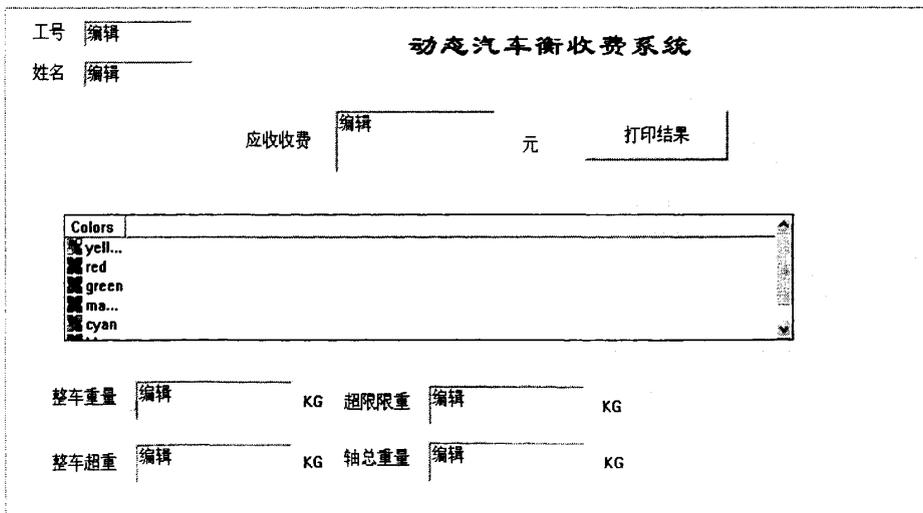


图 5-5 动态汽车衡的收费界面

Fig 5-5 Charge interface of DTS

在设计过程中，只测试了计重收费系统的基本功能。

第六章 研究工作总结

6.1 总结

车辆动态称重技术作为一种有效的车辆超载管理手段，已经为欧美发达国家广泛采用，并取得了很好的效果。车辆动态称重系统是一种软硬件结合的平台，一般的车辆动态称重系统都依赖硬件系统的高性能，而忽视了软件系统在处理称重信号方面的优势，所以软件技术的发展一直比较滞后。本文对车辆动态称重系的结构和数据处理部分进行了研究，主要结果如下：

1. 通过对动态汽车衡的原理，介绍了汽车衡得结构、称重测量过程，通过对其动力学分析可知得到影响精度的主要因素分动态和静态两方面因素。动态因素有：汽车的振动、汽车的行驶速度、汽车加速度、路面的不平整度。静态因素有：承载器强度和结构、承重传感器的特性，包括传感器温度漂移，传感器 A/D 分辨率和传感器本身非线性等问题。在动态汽车衡承载器设计、传感器选择、安装施工和汽车称重过程中尽可能的减小这些影响。

2. 分析了汽车衡承载器的结构受力和应力校核，归纳了承载器校核的几个方面，从纵向和横向分别分析承载器需要校核的参数，如：强度，刚度，绕度等，给承载器的结构设计和选材提供依据。采用 MD. ADAMS 对柔性化后的承载器进行了模拟仿真，得到承载器在称量过程的受力和形变。通过通常采用最大挠度经验公式： $[w]=L \left(\frac{1}{1000} \frac{1}{800} \right)$ ，采用仿真的方法确认承载器在实际的称量过程中的强度。

3. 通过分析采集信号中的高频和低频信号产生的原因，采用小波分解和小波重构的方法进行除噪滤波，在分析汽车衡模型的基础上，采用辅助变量法进行参数估计，这种算法基于最小二乘递推算法，通过建立辅助矩阵，能够快速识别系统，特别是系统存在有色噪声的情况。Matlab 有小波工具包和辅助变量函数，使得工作变得更加快速、便捷。

4. 计费系统是整个动态汽车衡称量数据处理的重要部件，它直接跟操作者和卡车司机对话，就要求有很好的人机对话功能。同时，它又负责数据的传输和存储。本文采用现行汽车衡常用的串口通信，为了使用方便，并没有采用 SQL SERVER 作为数据库，而是采用了 ACCESS2003，主要是考虑到本测量数据库量较

小, 涉及关系数据并不多, ACCESS2003 能够满足需要, 在使用过程中要简单的多。程序基于 Visual C++6.0, 能够很好的实现计费系统的需求。

本文的创新点主要有两点:

1. 将基于柔性动态仿真技术引进动态汽车衡系统分析中, 能够更好的模拟承载器在实际使用中动态过程, 这点是通过材料力学核和有限元分析不能得到。

2. 使用辅助变量法进行数据处理, 可以有效地减少白噪声的干扰。

6.2 不足和展望

由于时间和实验器材所限, 本文并没有完成动态汽车衡的所有内容, 而是选取了其中几部分关键内容, 这样使得文章的内容显得不够紧凑, 归纳起来主要有以下不足:

1. 由于设计实验器材不足, 本文没有进行涉及动态汽车衡数据采集和车牌识别的相关内容, 而实际中, 这也是动态汽车衡的关键技术。相关内容有待进一步研究。

2. 相关的数据处理方法和仿真过程, 没有得到实际汽车衡测量数据的支持, 研究方法和成果有待进一步通过更大量相关数据来验证。

3. 由于水平所限, 设计出的计费系统只能实现基本传输和存储功能, 并没有能够完成整个收费过程。

动态收费系统涉及的内容较多, 在国内外也有很多相关研究, 国外现在主要精力放到传感器的电路设计和滤波功能, 国内主要集中到算法改进上, 使得动态汽车衡的精度有很大提高。再实际的需求中, 提高称量精度、加快称量速度、改进收费界面的友好性应是动态汽车衡技术研究的方向。由于野外测量需要, 需要汽车衡小型化和网络化, 故此, 便捷式动态汽车衡和基于 GPS 无线网络传输是汽车衡产品的发展方向。

参 考 文 献

- [1] 吴文兵. 汽车动态称重技术在高等级公路管理中的应用[J]交通与计算机. 2004(2):40-42
- [2] “全国治理车辆超限超载工作简报”第一期 2005. 5. 12
- [3] Ono, T. A Dynamic Measurement Device of Mass Utilizing a Microcomputer [J].Systems and Control 1984(3):62-64
- [4] Ono, T. and Shimaoka, H. On the Dynamic Mass-estimation Algorithm of Displacement and velocity Sensing Type [J]. Transactions of the society of Instrument and control Engineers, 1983, 19(4)81-83.
- [5] Ono, T. and Shimaoka, H. 位移和速度检测是质量动态测量装置, 电子称重技术和测力计量的最新发展[C]. 第十届国际计量技术联合会力与质量会议论文集. 中国计量出版社, 1986.
- [6] Shimaoka, H. 二动态轴中仪电子称重技术与测力计量的最新进展. [A]第十届国际计量技术联合会力与质量会议论文集. 中国计量出版社, 1986.
- [7] 严晓久, 周爱国, 林建, 吴晔. 基于辅助变量法的系统参数辨识[J]. 《机床与液压》2006(12):180-184
- [8] 张雨, 袁明新, 吴文兵. 车辆动态称重仪使用现状及其轴重信号分析[J]. 2003(3): 1-6
- [9] 徐光华, 张继军, 屈梁生. 基于系统辨识的动态汽车衡称重方法. 中国机械工程, 2002, 13(8): 682-685
- [10] 张文会, 李胜琴, 武慧荣. 车辆动态称重误差来源与补偿算法研究[J]. 2008(4):74-77
- [11] H. B. Bahar. Dynamic weight estimation using an artificial neural network [M] Artificial Intelligence in Engineering. 1998(4) 3
- [12] 姚恩涛, 张君, 季娟. 基于 EMD-RBF 网络的车辆动态称重信号处理方法自动仪[J]. 传感器与微系统. 2007(1):80-83
- [13] 张勇, 杨晓光, 张雨. 遗传神经网络在轮载动态称重辨识中的应用[J]. 2006(4):30-33
- [14] 凌杰. 公路动态称重系统的设计理论研究[D]. 西安. 长安大学. 2001
- [15] 张文会, 韩冰源, 马振江. 车辆动态称重系统误差产生机理[J], 森林工程. 2007(9): 22-24
- [16] 李攀云, 刘允波. 浅谈动态轴计量汽车衡机械结构的设计思路[J]. 衡器. 2005(4):25-27
- [17] 刘鸿文. 材料力学I[M]. 北京. 高等教育出版社. 2004
- [18] 戚坚. 浅议汽车衡的承载能力[J]. 衡器. 2008(S01):17-20
- [18] 商常富. 动态汽车衡数据处理算法的研究[D]. 吉林大学. 2007
- [19] 刘九脚. 圆板式称重传感器的设计与计算[J]. 衡器. 2002(6):10-13
- [20] 王庆和, 王庆山. 数据处理中的几种常用的数字滤波算法[J]. 计量技术 2003(1)
- [21] 吴新根, 葛家理. 关于 BP 算法的初步研究[J]. 小型微型计算机系统第. 1994(1)
- [22] 马海平. 基于嵌入式 Linux 的动态汽车衡的设计与实现[D]. 太原理工大学. 2007
- [23] Mallat S. A Theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet

- representation [J]. IEEE Transmission, 1992, 2(38):674-693
- [24] 王海生, 叶昊, 王桂增. 基于小波分析的输油管道泄漏检测[J]. 信息与控制, 2002, 31:456-460
- [25] Poornachandra S. Wavelet-based denoising using subbing dependent threshold for ECG signals[J]. Digital Signal Processing, 2008, 18(1):49-55
- [26] 余志生. 汽车理论. 机械工业出版社, 1995(2)
- [27] 陈怀深. MAI, LAB 及其在理工课程中的应用指南(M). 西安电子科技大学出版社, 2000
- [28] 于海燕. 动态称重技术的研究[D]. 西安理工大学, 2006
- [29] 赵文峰. MATLAB 控制系统设计与仿真[M]. 西安电子科技大学出版社, 2002
- [30] Zhang W. X. Identification of Closed-loop system with Low-order controllers[J]. Automates, 1996, 32(12):1753-1757
- [31] 潘立登, 潘仰东. 系统辨识与建模[M]. 北京:化学工业出版社, 2004
- [32] 赖晓平, 李瑞胜, 洪惠民. 多维 ARMAX 系统辨识的一种新的递推预报误差算法. [J]. 信息与控制, 1991(1):1-7
- [32] 施昌彦. 动态称重测力技术的现状和发展趋势. 计量学报[J]. 2001, 22(01):201-205
- [33] Sahni. Data Structures, Algorithms and Applications in C++. [M] 机械工业出版社, 1999
- [34] Dvid J. Kruglinski, Scot Wingo, George Shepherd. Programming Visual C++6.0[M]. 北京希望电子出版社, 1993
- [35] 方崇智, 萧德云. 过程辨识[M]. 北京:清华大学出版社, 1988:40-45
- [36] 孙万龙. 求参数置信限的一种方法[M]. 应用概率统计. 2000(4):337-349
- [37] 范晓平. 跟着实例学 Visual C++6.0 访问数据库、绘图、制表[M]. 北京航空航天大学出版社, 2003
- [38] 刘增军, 向为, 孙广富. 基于 ADO 的数据库开发技术研究[M]. 科学技术与工程, 2007, 7(5):747-752
- [39] 赵柏玲. 基于 Access 平台的风荷载数据库系统开发[D] 14-15 硕士论文 2007
- [40] 夏晶. 基于 VC 的地震数据管理分析系统设计[D]. 重庆大学, 2007
- [41] 徐昕, 李涛, 伯晓晨等. Matlab 工具箱应用指南—控制工程篇[M]. 北京:电子工业出版社, 2000:54-60
- [42] 吴正毅. 测试技术与测试信号处理. 北京:清华大学出版社[M], 1991:31-56
- [43] 程卫国, 冯峰, 姚东. Matlab5.3 应用指南—控制工具篇[M]. 北京:人民邮电出版社, 1999:52-82
- [44] 张志涌. 精通 MATLAB6.5 版[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2002:360-364
- [45] 胡文龙. 基于 VC++6.0 的串口实时数据采集及实时曲线显示[J]. 科技广场. 2004(7):43-45
- [46] 陈鸣, 程耕国. 基于 Visual C++ 的串行通信应用[J]. 武汉科技大学学报(自然科学版), 2006(1):92-94
- [47] 刘夔. 用 Visual C++ 实现计算机串行通信的几种方法[J]. 舰船电子工程, 2006(1):94-97
- [48] 张绮莉, 刘书智. Visual C++ 实践与提高—串口通信与工程应用篇. 中国铁道出版社, 2006
- [49] MSDN Library Visual Studio 6.0. Microsoft Press, 2004

致 谢

本文是在王琳老师指导下完成的，她诲人不倦的精神、睿智练达的学者风范在这两年多时间里耳濡目染，将成为我以后工作学习中最宝贵的财富，将对我的一生产生重要的影响。并且在生活和学习上给予了深切的关心和支持。在此，谨向我尊敬的老师们表示衷心的感谢和诚挚的敬意！

同时，在课题研究期间，还得到赵惠清老师、张扬老师、安瑛老师和徐飞同学的大力帮助。在此，向他们表示衷心的感谢！

最后，感谢我的父母与家人、同学和朋友在学习、工作和生活中对我的大力支持和帮助！

研究成果及发表的学术论文

发表及已接受的论文

张刚, 王琳. 基于 MSC. MD. ADAMS 动态汽车衡仿真. 机械工程师. (已录用)

张刚, 张争明. 无源二线制智能数字显示表的设计与实现. 自动化仪表(已录用)

冯晓东, 张争明, 张刚. TTCAN 网络调度平台的设计优化. 微电子与计算机(已录用)

作者和导师介绍

导师：

王琳，副教授，研究方向：机械量的测量，疲劳应力分析，虚拟现实，计算机仿真和计算机辅助设计等。

作者：

张刚，男，汉族，机械电子工程，硕士研究生，出生于1980年7月25日，安徽省阜阳市人，研究方向：动态称重系统设计。