

徐树山 著

传感器

与

车辆称重

CHUANGANQI
YU
CHELIANG
CHENGZHONG

河南出版集团
中原农民出版社

传感器与车辆称重

徐树山 著

河南出版集团
中原农民出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

传感器与车辆称重/徐树山著.—郑州: 中原农民出版社, 2007. 8

ISBN 978-7-80739-089-3

I. 传… II. 徐… III. 传感器-应用-汽车-称重仪
IV. U492. 3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 137001 号

出版单位: 中原农民出版社

(地址: 郑州市经五路 66 号 电话: 0371—65751257

邮政编码: 450002)

发行单位: 全国新华书店

承印单位: 河南省诚和印制有限公司

开本: 850mm×1168mm 1/32

印张: 7

字数: 172 千字

版次: 2007 年 8 月第 1 版 印次: 2007 年 8 月第 1 次印刷

书号: ISBN 978-7-80739-089-3

定价: 20.00 元

本书如有印装质量问题, 有承印厂负责调换

前 言

近年来,我国道路运输车辆超载现象极为普遍,对交通安全、运输市场及汽车生产秩序造成了极大危害。目前,我国公路部门治理车辆超载的称重设备主要是电子地磅和动态轴重检测仪,它们的功能单一,电子地磅只能在固定工作场所进行静态测量,工作效率低;而动态轴重检测仪检测车辆的车速又不能高于 5km/h,否则将会产生较大测量误差。针对这种状况,我们承担了国家自然科学基金资助项目“电容称重传感器研究及在车辆称重中的应用”(项目编号:60572001)。对电容传感器的结构进行优化设计,使其便于识别车辆载荷;能合理、准确地反映出车辆载荷值的微小电容测量电路,小波滤波消噪处理电路,数据采集、计算和控制电路等。这种装置的主体部分安装在车辆上,不损坏路面,安装使用方便,成本低廉,对车辆载荷能进行动态和静态测量。它能以数字形式实时向司机显示出车辆载荷值;稽查人员的手持装置以无线通信方式与主体部分联系时,也可显示车辆载荷值,超载时能报警,并能通过手持装置定期校准车载装置的测量准确性。当应用于公路收费站时,该装置还可以显示出车辆类型、牌号等,可省去价格昂贵的图像识别和车型分类系统,大大减少收费站的建站费用。电容式车辆称重装置安装在被检测的车辆上,可静态也可动态地检测车辆载荷质量,不受场所地点限制,不需另加专用弹性体,结构简单。电容极板密封在绝缘材料内,具有不变形、不磨损、不锈蚀、寿命长等优点。

本书首先论述了传感器的一般性原理，然后较全面地介绍了电容式车辆称重装置结构，称重数据采集与处理，电容称重传感器静态性能测试与分析，反拟合法的电容称重传感器非线性校正，无线电通信技术在电容式称重系统中的应用，车辆电容称重装置的性能补偿等最新研究成果。

本书共分7章，第1章介绍了传感器及车辆称重的现状与发展。第2章至第4章论述了传感器基础知识、常见的传感器，如电容传感器、电阻应变传感器的结构特点及工作原理。第5章至第7章详细介绍了车辆称重技术、车辆电容称重装置结构、称重数据采集与处理、车辆电容称重装置性能补偿等。

本书在写作过程中得到了杨三序教授的大力支持和帮助，在此致以衷心的感谢。限于作者水平，书中难免有些疏漏，敬请读者批评指正。

作者

2007年8月

内 容 简 介

本书主要包含传感器及车辆称重技术两部分内容。第1章至第4章结合电容传感器、电阻应变传感器介绍传感器的类型、作用、基本特性、发展状况、结构特点及工作原理。第5章至第7章介绍车辆与载荷、动态及静态称重技术、车辆电容称重装置结构、称重数据采集与处理、称重装置性能补偿等。

本书既有较系统的基础理论，又有大量实用技术；既反映出最新研究成果，又展现出传感器技术的发展前景。

本书适用对象主要是电子电信科学类、电气信息类、仪器仪表类等专业的学生，也可供相关领域的工程技术人员学习参考。

目 录

1 绪论	1
1.1 传感器与人类文明	1
1.2 传感器与人体感官	2
1.3 传感器的发展	5
1.4 车辆称重现状与发展	8
1.4.1 国外现状及发展	9
1.4.2 国内状况及发展	10
1.4.3 车辆动态称重技术发展的展望	13
2 传感器基础	15
2.1 传感器的定义与分类	15
2.1.1 传感器的定义	15
2.1.2 传感器的分类	16
2.2 传感器的性能要求	17
2.3 传感器的地位与作用	17
2.4 传感器技术的发展趋势	19
2.4.1 发现并利用新现象	19
2.4.2 利用新材料	20
2.4.3 微机械加工技术	20
2.4.4 集成传感器	21
2.4.5 多功能化发展	21
2.4.6 智能化发展	21
2.5 传感器基本特征	22

2.5.1	传感器静态特性	22
2.5.2	传感器动态特性	26
2.6	传感器信息处理电路	35
2.6.1	传感器的电路技术	35
2.6.2	敏感元件	37
2.6.3	信号处理电路	41
3	电容传感器	43
3.1	电容器	43
3.1.1	电容器的定义	43
3.1.2	电容器的作用	43
3.1.3	基本原理	43
3.1.4	介电材料	44
3.1.5	参数	44
3.1.6	分类	46
3.1.7	电容器的发展趋势	49
3.2	电容传感器结构	50
3.2.1	电容传感器定义	50
3.2.2	电容传感器结构及分类	50
3.2.3	电容传感器的特点	51
3.2.4	工作原理和类型	51
3.2.5	电容传感器的等效电路	52
3.3	电容传感器应用	64
3.3.1	压差式电容压力传感器	65
3.3.2	电容测厚仪	66
3.3.3	力平衡式加速度传感器	68
3.3.4	硅电容式集成传感器	69
3.3.5	柱式变极距电容称重传感器	69

4 电阻应变传感器	76
4.1 电阻应变传感器的特点及工作原理	76
4.1.1 特点及应用范围	76
4.1.2 工作原理	76
4.1.3 应变片种类	77
4.1.4 金属的电阻应变效应	77
4.2 金属应变片的基本结构、类型及参数	78
4.2.1 金属应变片结构	78
4.2.2 金属应变片测量原理	79
4.2.3 金属应变片类型	79
4.2.4 金属应变片的主要特性参数	81
4.3 半导体电阻应变片	82
4.3.1 半导体应变片的压阻效应	83
4.3.2 半导体应变片基本结构	84
4.4 测量电路	84
4.4.1 直流电桥	85
4.4.2 交流电桥	87
4.4.3 差动电桥	89
4.4.4 平衡电路	90
4.4.5 应变测量电桥性能的提高	90
4.5 电阻应变传感器的应用	97
4.5.1 应变式力传感器	97
4.5.2 应变式压力传感器	99
4.5.3 应变式加速度传感器	100
4.5.4 应变式扭矩传感器	100
4.5.5 轮辐式测力传感器	101
4.5.6 膜片式压力传感器	102
4.6 应变式传感器测量仪	103

4.6.1	电阻应变仪	103
4.6.2	相敏检波器	105
5	车辆称重技术	109
5.1	车辆基本构造	109
5.1.1	汽车发动机	109
5.1.2	汽车的底盘	110
5.1.3	电气设备	111
5.2	车辆与载荷关系	112
5.2.1	载荷	112
5.2.2	超限、超载运输	113
5.2.3	超限、超载运输的危害	116
5.2.4	国外治理超载现状	118
5.3	车辆称重系统	120
5.3.1	公路低速动静态称重系统	120
5.3.2	动态车辆称重系统	122
5.3.3	系统硬件设计	123
5.3.4	软件设计	124
6	车辆电容称重装置	126
6.1	车辆电容称重装置结构	126
6.1.1	电路框图	126
6.1.2	工作原理	127
6.2	电容称重传感器	128
6.2.1	电容传感器的结构	128
6.2.2	电容传感器的安装	129
6.2.3	电容测量线路	129
6.2.4	车辆受力分析	129
6.3	称重数据采集与处理	130

6.3.1	数据采集系统	130
6.3.2	数据采集系统原理	131
6.3.3	力采集技术	135
6.3.4	采集技术实例	138
6.3.5	单片机流程图	140
6.3.6	车辆载荷计算	142
6.4	杂散免疫电容表	143
6.4.1	杂散免疫电容表组成	144
6.4.2	电容测量原理	144
6.5	电容传感器称汽车载重 $V-M$ 非线性转换	149
6.5.1	原始 $V-M$ 曲线	149
6.5.2	矫正后实测 $V-M$ 曲线	153
6.6	电容称重传感器静态性能测试与分析	154
6.6.1	测试方法	155
6.6.2	测试数据	155
6.6.3	静态性能分析	157
6.6.4	误差分析	159
6.7	USB 的电容称重传感器静态特性测试系统	163
6.7.1	车辆电容称重传感器	163
6.7.2	测量系统组成	164
6.7.3	USB 数据采集卡软硬件设计	165
6.7.4	传感器静态特性的测试	168
6.8	反拟合法的电容称重传感器非线性校正	170
6.8.1	非线性开环校正原理	170
6.8.2	非线性校正的曲线拟合法	171
6.8.3	算法设计	174
6.8.4	测试结果	175
6.9	无线通信技术在电容式称重系统中的应用	178
6.9.1	无线通信原理	178

6.9.2	硬件构成	180
6.9.3	软件设计	183
7	车辆电容称重装置性能补偿	187
7.1	电容传感器测量电路的稳零	187
7.1.1	一般调零电路	187
7.1.2	改进的调零电路	189
7.1.3	热零点偏移改善	193
7.1.4	零位误差的软件校正	194
7.2	圆柱螺旋弹簧迟滞的检测和补偿	194
7.2.1	测试原理	195
7.2.2	测试数据及分析	196
7.2.3	弹簧测力时迟滞的补偿	198
7.3	加速度传感器在电容车辆载荷检测中的应用	200
7.3.1	电容法车辆载荷检测原理	200
7.3.2	加速度传感器	201
7.3.3	前进方向加速度对车辆载荷检测的影响	202
7.3.4	车厢内货物左右装偏时对车辆载荷检测的影响	206
7.3.5	竖直方向加速度	207
	参考文献	208

1 绪 论

几十年的时间里，传感器经历了从诞生到家喻户晓的发展过程。今天，随着科技的进步，传感器技术已渗透到各行各业，对国民经济的发展起到了推动作用。

1.1 传感器与人类文明

传感器是人类获取自然环境和生产领域中信息的主要途径与手段。在人类社会历史中，感受、处理外部信息的传感技术一直扮演着重要的角色。在古代，传感技术由人的感官来实现，人观天象而事农耕，察火色而冶铜铁。从 18 世纪产业革命以来，特别是在 20 世纪信息革命中，传感技术越来越多地由人造感官，即传感器来实现。在今天的信息时代，人们利用信息的过程中，首先要获取准确可靠的信息，这就需要通过传感器来实现。在现代工业生产尤其是自动化生产过程中，要用多种传感器来监视和控制生产过程中的各个参数，使设备在正常状态或最佳状态下工作，并使产品质量达到最好。

在基础学科研究中，传感器更具有突出的地位。现代科学技术的发展，进入了许多新领域，例如在宏观上要观察茫茫宇宙，微观上要观察粒子世界，纵向要观察长达数十万年的天体演化，短到秒的瞬间反应。此外，还出现了对深化物质认识、开拓新能源、新材料等具有重要作用的各种尖端技术研究，如超高温、超低温、超高压、超高真空、超强磁场、超弱磁场等。显然，要获

取大量人类感官无法直接获取的信息，没有相适应的传感器是不可能的。许多基础科学研究的障碍，首先就在于对象信息的获取存在困难，而一些新机制和高灵敏度检测传感器的出现，则会实现该领域的突破。一些传感器的发展，往往是一些边缘学科开发的先驱。

传感器已渗透到工业生产、宇宙开发、海洋探测、环境保护、资源调查、医学诊断、生物工程，甚至文物保护等极其广泛的领域。可以说，从茫茫的太空，到浩瀚的海洋，以至各种复杂的工程系统，几乎每一个现代化项目，都离不开传感器。

1.2 传感器与人体感官

人们要从外界获取信息，必须借助于感觉器官。在研究自然现象和规律以及生产活动中，单靠人们自身的感觉器官远远不够，这就需要借助传感器。因此可以说，传感器是人类五官的延伸，可称之为电五官。例如光线传感器相当于我们的眼睛，声音传感器相当于我们的耳朵，气体传感器相当于我们的鼻子，味觉传感器相当于我们的舌头，压力、温度和湿度传感器相当于我们的皮肤。这样，人们利用传感器来取代人体的五个感觉器官，以减轻人类工作的负担，提高感测精度，同样能进一步超越人类的感测能力，从事人体所不能及或危险的工作。

目前，传感器种类繁多，敏感元件与传感器产品的品种仅我国就已超过 6 000 余种。在许多方面传感器的性能已经凌驾于人的感官之上。例如，传感器可以轻而易举地测量人体所无法感知的紫外线、红外线、超声波、磁场等，从这个意义上讲，传感器具有人类所梦寐以求的特异功能。

有些物质虽然人的感官也能检测，但是传感器的工作则更快、更精确。例如在检测可见光方面，人眼的视觉残留约为 0.1s，而

光晶体管的响应时间可短到纳秒以内；人眼的角分辨率为 $1'$ ，而光栅测距的精确度可达 $1''$ ；激光定位的精度在月球距离 ($3 \times 10^4 \text{ km}$) 范围内可达 10 cm 以内。

传感器可以把人所不能看到的物体通过数据处理变为视觉图像。CT 就是一个例子，它能把人体的内部形貌用断层图像显示出来。遥感技术也是如此。

应该承认，人的感官在许多方面仍然优于传感器，主要表现在以下几个方面：

① 零维探测与多维感知

当我们进入一个房间时，一瞬间就能判断出房间的大小，天花板的高低，房间内人的多少等。这就是说，当时间一定时，人的感知在空间上是多维的，人的感官是多维检测。如果用测距型传感器检测这个房间，则在某一特定时刻只能判断某一定点到传感器的距离。如果要测量一面墙的各点到传感器的距离，必须采用扫描的办法。这就是说，对于某一时刻而言，传感器是点到点间的零维检测。

② 单功能与多功能

当人进入这个房间后，除了房间大小等几何尺寸外，还能感受到墙壁的颜色、房间的冷热、空气流通情况、人数的多少等多种信息，就是说人的感官是多功能的；而传感器，例如温度传感器，就只能测出房间某一点的温度；所以说传感器是单功能的。

③ 微分与积分

假如室内温度常年始终保持在 20°C ，那么温度传感器检测到的温度指示是一个常数。然而人的感觉则更丰富：在严冬季节会觉得温暖，而在盛夏时又觉得凉爽。这种现象说明人所感受的量往往不单取决于某一时刻量的绝对值，而且与前一时刻的比较关系密切相关。用数学的概念来说，这意味着传感器测量的是积分型变量，而人的感官所感知的是微分型变量。

④非智能型与智能型

传感器是非智能型，而人的感官是智能型。

传感器不具有以下功能：

①选择功能

如我们出席一个嘈杂的宴会时，对于周围人的高谈阔论可能充耳不闻，可是如果大会主席讲到你的名字，你会异常敏锐地捕捉到这个声音。这就是说人在背景噪声很高的情况下能选择性地提高对于特定信号的接收灵敏度。而传感器则没有这种能力，它对所有信号不加区分地以同样的灵敏度接受。这是由于人的感官具有一种智能：选择功能。

②学习功能

当你已知桌子上摆了一杯咖啡，并且发现在它的旁边放有一个装有白色粉末的盘子时，你会立即判断出它是白糖。这是因为人能够根据经验判断出咖啡旁边的白色粉末应当是白糖而不可能是食盐，更不可能是其他化学药品。这个例子说明了人的感官所具有的另一种智能：学习功能。

③联想功能

如果在地面上放一块 20cm 宽、十几米长的木板，不用说，谁都可以毫不胆怯地从上面走过去。但是如果把同样的木板架在几百米的深渊之上，构成一个高桥，恐怕绝大多数人都不敢走过去。同样的木板因放置高度不同导致如此不同的结果，是因为人在观察木板的几何形状、质地等外在特性的同时，还注意到木板桥架设的高度，进而预测到万一从木板上掉下去的后果，最后决定是否过桥。如果让装有传感器的机器人来过桥的话，那么机器人将无视桥下是平地还是深渊，都将按照既定的方向走过去。这说明人既有瞬时多元观测的能力，又有联想和预见能力。这种联想功能是人的感官智能化的又一标志。当然传感器缺乏洞察危险的能力也并非坏事，我们可以把危险的、环境恶劣的工作交给由

传感器控制的机器人来完成。

④模拟量识别

人所感受的量许多都是模糊量,如房间的舒适、环境的整洁、心情的愉快、饮食的美味等。而传感器检测这些状态时,只能对某个量值,如房间的面积、照度、灰尘等做出判断。所以说传感器的工作是数字量的检测,而人感官的功能是模糊量的识别。

⑤全局与局部

“只见树木不见森林”可以说是传感器的写照。就是说传感器检测到的是个体性质,而人的感官既可以观察整体的森林,又可以观察个体的树木。这就是人的感官的空间广延性。人通过对个体事物的观察,升华为对于全局的把握,才能深刻揭示全局的本质。

人与传感器之所以具有这些不同,首先是因为人脑的作用。人脑具有学习功能,不仅能学习新知识,还能把过去学到的知识加以组织利用。人脑的分析判断能力是过去无数经验的综合,人脑可以处理不完全的、暧昧的信息。人的左、右脑各有所长:左脑是逻辑地、微观地处理问题,而右脑是感觉地、宏观地处理问题。单纯地用左脑处理问题很类似于传感器。人具有独到的认知能力归功于右脑的贡献。

人与传感器具有这些不同点的另一个重要原因是人体感官是由生物体材料构成的,它具有环境适应、自修复、自诊断、自增殖等功能,是智能材料,而传感器目前所使用的工程材料尚不具备上述这些智能。

1.3 传感器的发展

在今天的信息时代里,信息产业包括信息采集、传输、处理三部分,即传感技术、通信技术、计算机技术。现代计算机技术