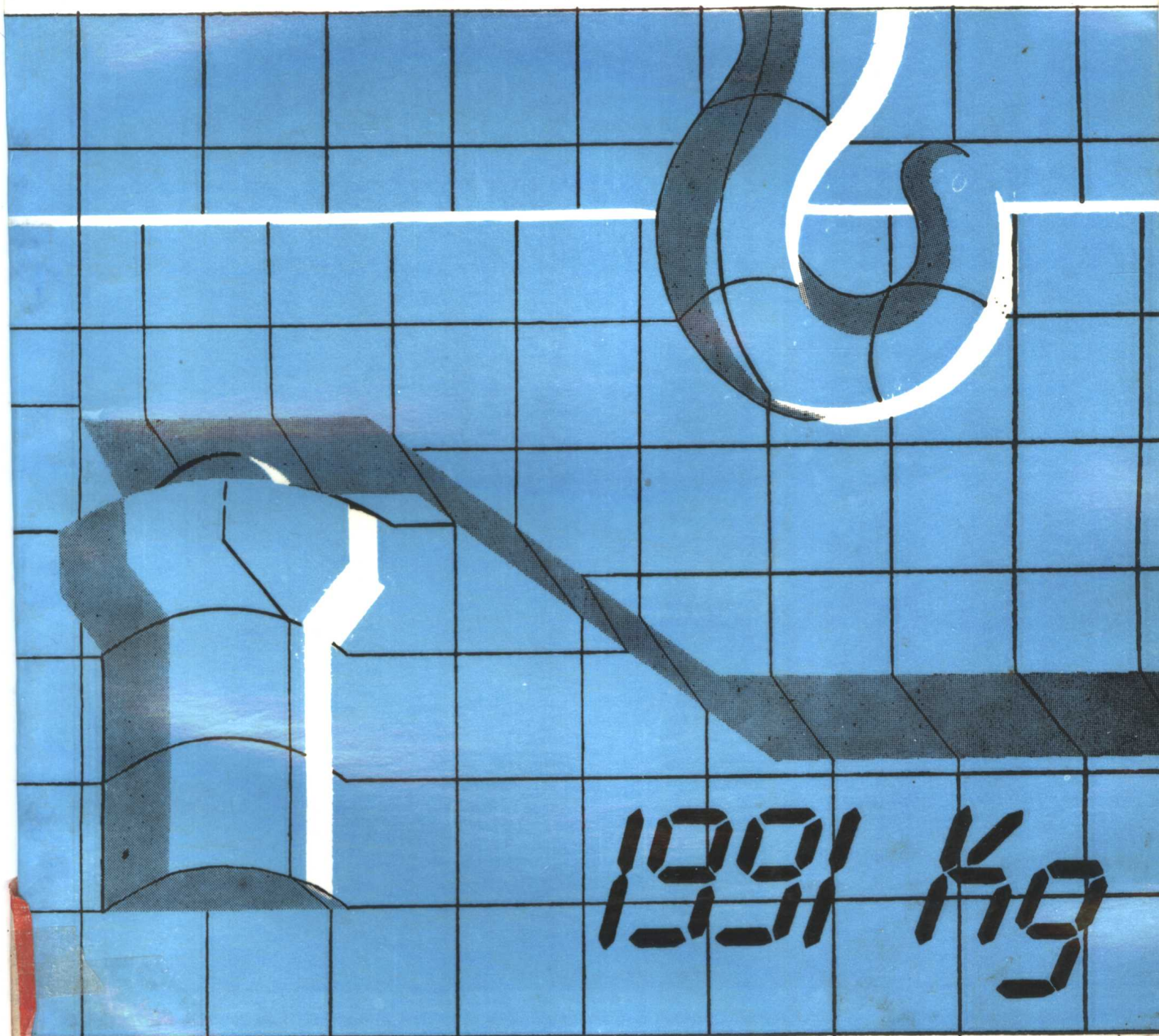


电子秤技术

Electronic Weighing Technology

施汉谦 宋文敏 编著



中国计量出版社

电 子 秤 技 术

施汉谦 宋文敏 编著

江苏工业学院图书馆
藏书章

中国计量出版社

新登(京)字024号

内 容 提 要

本书讲述了电子称重技术的理论基础,质量的测量方法;电子秤的原理、组成和分类方法;机电结合和全电子式电子秤的组成、结构原理和测量电路;常用称重传感器的工作原理、结构特点和测量方法;电子称重技术中的指示仪表工作原理、功能电路及特殊测量技术;电子秤传力复位系统的设计、安装及调试技术;各种电子秤计量要求和检定方法;各种典型电子秤的工作原理、构成、安装调试和维修等。

本书可供从事电子称重技术的科技人员和计量工作者、电子秤的设计、研制和使用人员以及有关院校师生参考;也可作为质量称重专业和短训班的教材。

电 子 秤 技 术

施凤谦 宋文敏 编著

责任编辑 孙维民

中国计量出版社出版

北京和平门西街甲2号

中国计量出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

—4—

开本 787×1092/16 印张 26.5 字数 655 千字

1991年9月第1版 1991年9月第1次印刷

印数 1—5000

ISBN 7-5026-0432-4/TB·346

定价 13.50 元

前 言

近代科学技术的发展,对生产过程中称重技术和控制提出了新的要求。电子秤是一种装备了电子元件的称量设备,由于它具有称量快、读数方便、能在恶劣环境条件下工作、便于与计算机技术相结合而实现称重技术和过程控制的自动化等特点,因而被广泛应用于工矿企业、能源交通、商业贸易和科学技术等各个部门。随着称重传感器技术的提高以及超大规模集成电路和微处理器的出现,近年来电子秤技术也得到了迅速的发展,并被人们越来越重视。

为适应电子秤技术发展的需要,编著者根据多年来的工作实践和实际体会,并搜集了国内外较新且实用的资料,编写成“电子秤技术”一书,以供从事称重专业的广大工程技术人员、电子秤的使用、维修和计量检定人员以及有关院校师生工作和学习时参考。也可作为电子秤技术短训班的教学参考书。

本书共分二篇(十四章),第一篇(共八章)是电子秤技术的基础篇,主要讲述电子秤绪论;机电结合电子秤及其所用传感器的结合原理;常用各种称重传感器的结构、原理及其测量电路;电阻应变式称重传感器的选择原则、组合方式及激励技术;电子称重指示仪表;电子秤的特殊测量技术及有关功能电路;电子秤传力复位系统的设计、安装及调试;电子秤的计量性能要求及其检定。第二篇(共六章)是电子秤技术的应用篇,主要介绍几种典型的电子秤,其中包括非自动衡器的电子计价秤、电子平台秤、电子吊秤;连续累计式自动衡器中的重力式电子皮带秤、核子皮带秤、螺旋电子秤、转子电子秤和冲量式流量计;非连续累计式自动衡器;重力式自动装料秤;自动轨道衡以及自动分类衡器等,主要讲述它们的组成、工作原理、结构特点、计量性能及检定要求以及它们的安装调试和维护方法。

本书在编写过程中得到了中国计量科学研究院力学处、航空航天部七〇一研究所、河北省科技开发中心新宇传感器厂、冶金部北京电子设备研究制造厂和天津市计量技术研究所等单位的大力支持,特别是天津市计量技术研究所的范占峰同志还编写了部分书稿做了大量工作,在此表示感谢。

因篇幅所限,书末只列出了部分参考资料,不少国内外有关资料、文献及国内部分科研成果未能一一列出,请予以谅解。

由于我们水平不高,编写时间仓促,书中存在不少缺点和错误,恳请读者批评指正。

编 著 者

1990年11月于北京

目 录

第一篇 电子秤技术基础

第一章 电子秤绪论	(1)
一、称重技术在社会进步和发展中的作用	(1)
(一) 质量计量的起源	(1)
(二) 古代秤的演变过程	(1)
(三) 早期商用秤的发展过程	(1)
(四) 系列衡器的发展历史	(2)
(五) 近代衡器制造业的发展	(3)
二、电子称重技术的理论基础和测量方法	(5)
(一) 称重技术的理论基础	(5)
(二) 惯性质量的测量方法	(5)
(三) 测定重力质量的方法	(16)
(四) 利用替代法测定质量	(26)
(五) 液体静力法测定质量	(27)
(六) 连续线形载荷重力质量的测定	(29)
(七) 测定质量的其它方法	(32)
三、电子秤的组成和分类	(33)
(一) 电子秤的定义	(33)
(二) 电子秤的组成	(34)
(三) 电子秤的分类	(35)
四、称重传感器与测力传感器的概念	(35)
(一) 新概念的由来	(35)
(二) 称重传感器和测力传感器的差别	(36)
(三) 发展动态	(37)
五、电子秤的特点和现代称重技术的发展趋势	(37)
(一) 电子秤的特点	(37)
(二) 现代称重技术的发展趋势	(37)
第二章 机电结合电子秤及传感器	(39)
一、偏心轮摆锤机构及其应用	(39)
(一) 机电结合电子秤的类型	(39)
(二) 偏心轮摆锤机构的工作原理	(39)

二、光栅的结构原理及其在电子秤上的应用	(41)
(一) 光栅式电子秤的组成	(41)
(二) 光栅的类型	(41)
(三) 光栅传感器的结构	(41)
(四) 莫尔条纹的形成及其特性	(42)
(五) 莫尔条纹测量位移的原理	(43)
(六) 光栅电子秤的辨向原理	(44)
(七) 细分技术	(46)
(八) 慢变化干扰信号的消除方法	(46)
(九) 光栅式电子秤	(46)
三、码盘的结构原理及其应用	(46)
(一) 码盘式电子秤的组成	(46)
(二) 码盘的结构和工作原理	(47)
四、感应同步器的结构原理及其应用	(51)
(一) 感应同步式电子秤的组成	(51)
(二) 直线感应同步器的结构及其工作原理	(51)
(三) 感应同步器的信号处理方式	(52)
五、电磁力发生器的结构原理及其应用	(54)
(一) 电磁力平衡式电子秤的特点及其组成	(54)
(二) 电磁力平衡式电子秤的工作原理	(55)
(三) 差动电感检零器及其测量电路	(56)
六、陀螺传感器的结构原理及其应用	(59)
(一) 陀螺称重传感器的由来	(59)
(二) 陀螺称重传感器的特性及其工作原理	(59)
(三) 陀螺式电子秤的组成及结构	(61)
七、电阻应变式称重传感器的应用	(63)
(一) 电阻应变式机电结合电子秤的特点	(63)
(二) 对机电结合式电子秤几个关键部件的考虑	(63)
(三) 电阻应变式称重传感器机电秤的优点	(67)
八、各种机电结合式电子秤性能比较	(68)
第三章 常用各种称重传感器	(69)
一、电阻应变式称重传感器	(69)
(一) 传感器的工作原理	(69)
(二) 传感器的结构形式及设计要点	(70)
(三) 传感器的参数调整	(82)
(四) 电阻应变式称重传感器的测量电路	(88)
二、电容式称重传感器	(88)
(一) 电容式传感器的特性	(88)
(二) 电容式称重传感器的工作原理和结构类型	(88)
(三) 电容式传感器的结构特点	(92)
(四) 电容式传感器的测量电路	(94)
三、压磁式称重传感器	(100)

(一) 压磁式称重传感器的特性·····	(100)
(二) 压磁式称重传感器的工作原理及压磁元件·····	(100)
(三) 压磁式称重传感器的结构和工艺·····	(103)
(四) 压磁式称重传感器的测量电路·····	(106)
(五) 压磁式称重传感器的特点和应用·····	(111)
四、谐振式称重传感器·····	(111)
(一) 谐振式称重传感器的特性·····	(111)
(二) 振弦式称重传感器·····	(111)
(三) 振梁式称重传感器及其在电子秤中的应用·····	(117)
(四) 石英晶体谐振式称重传感器·····	(119)
第四章 电阻应变式称重传感器·····	(122)
一、传感器的选择原则·····	(122)
(一) 传感器选择须知·····	(122)
(二) 传感器型式的选择·····	(122)
(三) 传感器量限的选择·····	(122)
(四) 传感器准确度的选择·····	(123)
二、称重传感器的组合方式·····	(123)
(一) 组合方式的类型·····	(123)
(二) 串联工作方式·····	(123)
(三) 全并联工作方式·····	(124)
(四) 串并联混合工作方式·····	(127)
(五) 三种工作方式的比较·····	(128)
三、传感器的激励技术·····	(129)
(一) 激励的类型·····	(129)
(二) 供桥电源的分类·····	(129)
(三) 直流供桥电压的确定与调节·····	(130)
(四) 直流稳压供桥电源设计要点·····	(131)
第五章 电子称重指示仪表·····	(139)
一、电子秤指示仪表的类型·····	(139)
二、电子秤指示仪表的分类及其工作原理·····	(139)
(一) 模拟式称重仪表及其工作原理·····	(139)
(二) 数字式称重仪表及有关电路的工作原理·····	(142)
三、专用称重仪表·····	(185)
(一) 早期专用称重仪表的典型结构·····	(185)
(二) 积木组合式电子秤专用称重仪表·····	(186)
(三) 微机化专用称重仪表·····	(186)
(四) 专用称重仪表的功能·····	(188)
(五) 微机化小而全型称重仪表实例·····	(189)
四、微处理器在称重仪表中的应用·····	(190)
(一) 提高 A/D 转换器的分辨率和性能·····	(191)
(二) 提高称重系统的精确度·····	(197)
第六章 电子秤的特殊测量技术·····	(200)

一、比率电压测量技术	(200)
(一) 比率电压测量技术的特点	(200)
(二) 比率电压测量原理	(200)
二、六线制长线补偿技术	(201)
(一) 四线制接法存在的问题	(201)
(二) 六线制长线补偿方法	(202)
三、电子秤的置零及去皮重电路	(203)
(一) 基本概念和类型	(203)
(二) 置零和去皮电路的应用	(203)
四、电子秤的定值控制电路	(205)
(一) 定值控制的应用	(205)
(二) 分类及工作原理	(205)
(三) “定值电子秤”方案实例	(206)
五、电子秤的累加器电路	(208)
(一) 工作原理	(208)
(二) 电路实例	(208)
六、电子秤的线性化电路	(209)
(一) 线性化的硬件补偿	(209)
(二) 线性化电路的实现方法	(209)
七、电子秤的模拟自动调零电路	(211)
(一) 模拟调零的特点	(211)
(二) 自动调零电路的组成及工作原理	(211)
八、电子秤的自动定标电路	(212)
九、电子秤的大屏幕数字显示器	(213)
(一) 大屏幕数字显示器的应用	(213)
(二) 大屏幕数字显示器的组成及工作原理	(213)
(三) 驱动电路实例	(214)
十、电子秤中的桥补结合电路	(214)
(一) 桥补结合电路的作用	(214)
(二) 桥补结合电路的构成及工作原理	(215)
(三) 桥补结合电路的特点	(215)
(四) 桥补结合电路及其要求	(216)
十一、无线数据传输装置	(216)
(一) 数据传输的种类	(216)
(二) 无线数据传输装置的组成及其工作原理	(216)
(三) 抗干扰技术	(217)
(四) 其它问题	(219)
十二、红外遥控技术	(219)
(一) 红外遥控技术的应用	(219)
(二) 红外遥控装置的主要组成部分及其工作原理	(219)
十三、专用信号模拟器	(222)

(一) 专用信号模拟器的应用	(222)
(二) 专用信号模拟器的工作原理	(222)
(三) 参数的选择	(223)
十四、电子秤的抗干扰和屏蔽接地技术	(223)
(一) 屏蔽接地的必要性	(223)
(二) 电子秤的保护接地	(224)
(三) 电子秤的抗干扰屏蔽接地技术	(226)
(四) 接地装置的制造、安装技术	(231)
第七章 电子秤传力复位系统的设计、安装及调试	(233)
一、对传力复位系统的要求	(233)
二、传力复位系统对电子秤准确度的影响	(233)
(一) 附加误差的引入	(233)
(二) 传力复位系统的类型及附加装置	(234)
三、悬挂式电子秤传力复位系统	(234)
四、平台压式电子秤传力复位系统	(237)
(一) 概述	(237)
(二) 传力复位机构的类型和解决水平力的方法	(237)
五、压式传感器的安装及安装用附件	(244)
(一) 仿真块的应用	(244)
(二) 电子秤的安装	(245)
(三) 载荷分配的调整	(245)
(四) 承载弹性体的代用	(246)
六、电子秤的横向约束装置	(247)
(一) 横向约束装置的组成	(247)
(二) 紧固器及其结构形式	(248)
(三) 紧固器的配置	(251)
(四) 限位器及其工作方式	(252)
第八章 电子秤的计量性能及其检定	(255)
一、电子秤的最大允许误差	(255)
(一) 称重误差的概念及计算方法	(255)
(二) 电子秤的最大允许误差及其规定	(257)
(三) 非自动电子秤的准确度评定方法	(260)
二、分度值允差规定的理论依据	(262)
(一) 衡器误差与分度值的关系	(262)
(二) 非自动衡器的准确度级别与分度数的关系	(263)
(三) 分度值允差规定与衡器性能的关系	(263)
(四) 分度值允差规定的优点	(264)
三、确定电子秤最大分度数 $n_{\max}$ 的依据	(264)
(一) 确定最大分度数的重要性	(264)
(二) 确定 $n_{\max}$ 的原则和依据	(265)
(三) 确定 $n_{\max}$ 的实例	(265)

四、有关国家衡器的允差规定	(267)
五、电子秤的误差来源及误差分配	(270)
(一) 静态和动态两类电子秤的概论	(270)
(二) 电子秤的误差来源	(270)
(三) 符合 OIML III 级“非自动衡器”在不同称量范围时平均误差值的估算方法	(271)
(四) 衡器各部件误差的合理分配方案	(272)
六、电子秤的检定	(273)
(一) 整机计量性能的检定	(273)
(二) 主要部件的性能要求	(273)
七、电子秤的定型鉴定和型式批准	(283)
(一) 概述	(283)
(二) 电子秤定型鉴定的试验内容和试验方法	(284)
(三) 电子秤量程稳定性试验的含义及其试验程序	(289)
(四) 我国电子秤定型鉴定的试验方法	(291)

第二篇 典型电子秤

第九章 非自动衡器	(295)
一、“非自动衡器”的基本概念	(295)
二、电子计价秤	(295)
(一) 电子计价秤的概况	(295)
(二) 电子计价秤的主要性能要求和工作原理	(296)
(三) 采用计算器的电子计价秤及其接口电路	(302)
三、电子平台秤	(304)
(一) 电子平台秤的基本概念	(304)
(二) 电子汽车衡的工作原理和结构形式	(304)
(三) 称重传感器的选择	(309)
(四) 计量性能及显示、处理功能	(310)
(五) 电子汽车衡的安装、调试及检定	(310)
(六) 电子汽车衡常见故障及维修	(312)
四、电子吊秤	(312)
(一) 电子吊秤的概况	(312)
(二) 电子吊秤的类型	(313)
(三) 电子吊秤的工作原理	(315)
(四) 电子吊秤的计量性能要求及检定注意事项	(317)
第十章 连续累计式自动衡器	(319)
一、基本概念	(319)
二、重力式电子皮带秤	(319)
(一) 工作类型	(319)
(二) 电子皮带秤的工作原理及其特点	(319)
(三) 电子皮带秤的称重传感器和速度传感器	(321)
(四) 电子皮带秤的信号处理和显示仪表	(323)

(五) 电子皮带秤的秤架结构、受力分析.....	(325)
(六) 电子皮带秤的检测技术及其要求.....	(327)
(七) 电子皮带秤的选择、安装和维护.....	(332)
三、核子皮带秤	(341)
(一) 核子皮带秤概况.....	(341)
(二) 核子皮带秤的结构原理.....	(341)
(三) 对核子皮带秤准确度的影响因素.....	(348)
(四) 核子皮带秤的校准与准确度.....	(348)
(五) 核子皮带秤的使用、维护和应用.....	(348)
四、螺旋电子秤	(346)
(一) 概述.....	(346)
(二) 螺旋电子秤的工作原理.....	(346)
(三) 螺旋电子秤的设计方法.....	(348)
五、转子电子秤	(350)
(一) 转子电子秤的应用.....	(350)
(二) 转子电子秤的工作原理和特点.....	(350)
六、冲量式流量计	(352)
(一) 冲量式流量计的特点	(352)
(二) 冲量式流量计的工作原理和基本结构	(352)
第十一章 非连续累计式自动衡器	(359)
一、基本概念及其应用.....	(359)
二、工作原理	(359)
(一) 工作原理	(359)
(二) 系统结构和功能	(360)
(三) 非连续累计式自动衡器的工作过程	(362)
三、称重传感器的选择原则	(362)
(一) 量程选择.....	(362)
(二) 结构型式的选择.....	(363)
(三) 动态特性.....	(363)
四、累计料斗秤的计量性能要求和检定	(364)
(一) 累计料斗秤的准确度等级.....	(364)
(二) 累计料斗秤自动称量和非自动称量等级关系.....	(364)
(三) 累计分度值的规定.....	(364)
(四) 检定项目及方法.....	(365)
五、非连续累计自动衡器的安装、调整、使用及维护.....	(367)
(一) 安装及使用前的准备.....	(367)
(二) 调整方法.....	(367)
(三) 使用及维护.....	(367)
第十二章 重力式自动装料秤.....	(369)
一、基本概念及其组成.....	(369)
二、工作原理、系统结构和功能	(369)

(一) 基本工作原理	(369)
(二) 系统结构	(369)
(三) 软件设计和功能	(371)
三、提高重力式装料秤准确度的技术措施	(371)
(一) 系统零漂	(371)
(二) 气动电磁阀工作时振动的影响	(372)
(三) 对不同物料流的控制	(372)
四、重力式自动装料秤的计量性能要求和检定	(372)
(一) 计量性能要求	(372)
(二) 检定用设备和条件	(373)
(三) 检定项目和方法	(373)
五、重力式自动装料秤的安装、调整、使用及维护	(374)
(一) 安装及使用前的准备	(374)
(二) 调整要求	(374)
(三) 使用及维护	(374)
第十三章 自动轨道衡	(375)
一、基本概念及其应用	(375)
二、自动轨道衡的工作原理和称量方法	(375)
(一) 如何提高自动轨道衡的称量准确度	(375)
(二) 自动轨道衡的工作原理	(376)
(三) 自动轨道衡的计量方式	(377)
三、自动轨道衡称量特点和信号处理方法	(378)
(一) 称重特点	(378)
(二) 信号处理方法	(379)
(三) 车型判别的逻辑控制系统	(384)
四、称重传感器的选择	(386)
(一) 结构型式的选择	(386)
(二) 额定载荷的选择	(386)
(三) 偏载系数 N 的确定	(386)
五、自动轨道衡的秤台结构	(387)
(一) 对秤台的要求	(387)
(二) 秤台的结构型式	(387)
(三) 引轨、过渡器及其它要求	(388)
六、自动轨道衡的计量性能要求和检定	(389)
(一) 自动轨道衡的准确度等级	(389)
(二) 自动轨道衡的最小称量和最小货车重量的规定	(391)
(三) 对自动轨道衡置零、鉴别力和偏载试验的要求	(391)
(四) 对自动轨道衡检定用标准器的规定	(392)
(五) 对自动轨道衡显示仪表和控制系统的要求	(392)
七、自动轨道衡的安装、调整和维护	(392)
(一) 自动轨道衡的安装	(392)

(二) 自动轨道衡的调整及维护.....	(393)
第十四章 自动分类衡器.....	(394)
一、基本概念及其应用	(394)
二、自动分类秤的组成和工作原理	(394)
(一) 自动分类秤的组成.....	(394)
(二) 自动分类秤的工作原理	(397)
三、自动分类秤的多种应用.....	(398)
(一) 用于产品分选	(398)
(二) 控制加料机和自动定量秤.....	(398)
(三) 用于对物品的重量等级分类	(399)
(四) 用于制造流程中的监测装置.....	(399)
四、对自动分类秤的计量性能要求和检定.....	(399)
(一) 准确度等级和允差要求.....	(399)
(二) 分度值和最小检定分度数的规定	(400)
(三) 设定值误差以及实际设定点随时间和温度的变差.....	(400)
(四) 偏心载荷的影响.....	(400)
(五) 影响量规定.....	(401)
(六) 检定要求.....	(401)
参考文献.....	(403)

第一章 电子秤绪论

一、称重技术在社会进步和发展中的作用

(一) 质量计量的起源

称重技术自古以来就被人们所重视，在传说的黄帝“设五量”中，权衡即为五量之首。夏禹的“声为律、身为度、称以出”，“循守会稽，乃审权衡，平斗斛”等，均说明了在我国古代称重技术所处的位置和重要性。在公元前，人们为了对货物交换量的估计，起初采用木材或陶土制作的容器来作为交换货物的计量。以后，又采用简单的秤来测定质量。

据考证，世界上最古老的计量器具出土于中东和埃及，目前为止所发现的最古老的砝码来自于上埃及的那嘎达 (Nagada)，其形状为圆柱体，估计距今约为 5000 年。最古老衡器的残存物现在存放在英国伦敦博物馆，它是带红色石灰石制成的天平的横梁，出自于约公元前 2500 年埃及第三王朝。

(二) 古代秤的演变过程

在埃及的古迹和苇纸上，至今尚保存有大量等臂天平的形象。这种天平在埃及的陶土文书上也有很多描绘。画面上的天平为一简单的两臂横梁，带两个秤盘。约在公元前 1500 年，埃及的天平有了根本性的改进并出现了在与支柱的悬臂杆固定在一起的悬挂铅锤，在天平横梁的中部还装有一根指针，秤盘为用线绳吊在天平横梁两头的蝶形物。在古希腊，早期的天平与埃及的天平很类似，他们最早开创了衡器理论。公元前 389~322 年的阿里斯多德 (Aristoteles)、约公元前 300 年的欧几里德 (Euklid) 和公元前 287~312 年的阿基米德 (Archimedes) 研究了等臂杠杆的平衡问题、天平的稳定性问题、天平的灵敏性与杠杆臂长的关系等问题，这是世人所公认的。

随着社会的进步以及贸易中的实际需要，罗马人发明了比等臂天平更具有优点的游砵秤，并以“罗马快速秤”而著称推广到世界其它各国。这种秤具有不寻常的意义，因为它只需一个游砵就可根据杠杆臂比的大小来称量出比游砵质量大很多倍的被称重物，而等臂天平却需要配备与被称物等重的砝码。游砵秤虽具有称量快捷的特点，但它只能用于准确度要求不高的场合。

(三) 早期商用秤的发展过程

从古代起直至中世纪，各国容量和重量即我国谓之“权度”的管理权，是同市场权力不可分割的，因为未经计量的货物交换是难以想象的。所以权度的统一管理，从古代起就是

国家政权的重要任务。我们古代秦始皇统一度量衡制度为后人所称颂就是一个典型的例子。从大量各国记载的贸易习俗和官方的监督中，可以知道在那一时期，虽然衡器在理论上和实践中没什么新的突破，但计量方法与今天的有些不同，即不是由经营者自己负责，而是由官方亲自计量或至少要置于官方的监督之下。

到了近代，衡器的制造才出现了进步。在 1531 年，欧洲纽伦堡由一位锁匠约·豪依斯（Jörg Heuβ）制造了三台带提升机构的面粉秤，它不仅减轻了劳动强度，还提高了称量效率。

随着商业的发展，衡器的最大称量也逐步增加到了 500 kg，并在秤上为减轻称量工作量而配备了推移装置。

从 16 世纪起，又有涉及衡器问题的科学文献流传于世了。在意大利除了伽利略（Galilei），还出现了贝内戴托·卡斯楚里（Benedetto Castelli）和威韦尔尼（Viviani），他们相继发表了有关衡器理论的论文。

纽伦堡的爪特里乌斯·里维乌斯（Guatherius Rivius）出版了一本“关于正确理解衡器与重量的若干论文”，这是他于 1558 年从“建筑工程人员报告集”中辑录的，这本书可谓等臂天平和快速秤制造的指南。1747 年，莱昂哈德·欧拉（Leonhard Euler）在彼德堡的“科学评论”上发表并提出了第一套完整的衡器理论的论文。

于 1726 年在莱比锡出版的雅可比·路易波“剧场静力学、重力技术与衡器大观”一书，是一本关于衡器制造理论与实践的内容丰富的著作，并被人们作为标准使用了一百多年。在该书中对称量 58 担（约 50 kg）能反应出 1/12 760 微小差的“莱比锡粮食草料秤”作了详细描述，这台秤具有两把刀子、三个游砣、四个秤重范围，能称量整个货车，在当时是个显著的进步。悬挂载荷的称重方式，不能满足日益增长贸易的需要，所以在 18 世纪人们开始试验把架盘天平从上方施加载荷的原理，也开始应用到大载荷秤上去。这种努力导致了衡器制造业的一项重大发明——即“地秤”的出现。第一台地秤的发明应归功于伯明翰的木匠约翰·华特（John Wyatt）。

在一幅 1789 年的法国绘画作品中，有一台与华特秤一样的秤，它靠一个辅助秤盘来校验。在秤台上无载荷时，处于砝码盘中的若干个砝码的重量相应于最大载荷，并按替代原理工作，即在称量时，去掉相应量的砝码，以建立平衡。该原理在 20 世纪初又重新在精密天平和高精密天平上得到了应用。

（四）系列衡器的发展历史

1. 架盘天平的出现

虽然简单的等臂天平可以进行最准确的称量。但对于贸易和日常生活却宁可要求简便迅速地获得重量值。巴黎大学教授德·罗伯威尔（Roberval）首先解决了这个问题，两个世纪以后，他的发明才得到应用。以罗伯威尔名字命名的天平是一种组合式案秤——架盘天平，天平的横梁位于秤盘的下方，连杆机构平行地引导秤盘，使其始终处在水平位置。

2. 不等臂平台秤的问世

在 19 世纪出现了大量不同型式可移动的平台秤，当时最大称量可高达 200 kg，这种秤以“十进制”的名字而著称，并且迅速得到了普及，甚至至今它仍是最通用的一种秤。以后

又逐渐在扩大称量范围、制动机构、缓冲器和悬吊机构等方面得到发展，并造出了100 t带轨道能称量大炮和装甲车的大型轨道地秤，这种秤是当今动态自动轨道衡的鼻祖。

3. 吊车秤

在19世纪上半叶出现了“瑞典船舶秤”这种吊车秤。早期带砝码盘的吊车秤能称量10 t以上的载荷，通常中间还加有一根杠杆，以获得更大的臂比。以后又逐渐出现了在吊车等起重装置上，能简便地称量大宗货物的吊索秤，这种秤还带有一个自动皮重平衡装置，以补偿掉被卷起来的那部分吊索的质量，消除了载荷起吊高度对称量结果的影响。

4. 倾斜象限杆秤

倾斜象限杆秤开始是一种指针式的“家用方便秤”，是为挂在墙上使用而设计的。后期发展用于钢铁锻造。除了弹簧秤外，它是最能直接指示称量值的秤。不少倾斜象限杆秤还可用于行李称重等。

5. 弹簧秤

弹簧秤是一种实用而方便、易于携带并可直接指示重量的计量器具。1678年胡克描述了利用螺旋弹簧、盘簧或板簧工作的弹簧秤。这些弹簧秤尽管准确度不高，但由于读数方便，至今还广为人们所应用。

6. 自动秤

在19世纪后期，随着工业化的迅猛发展，出现了大量迅速称量散料物品的自动秤。第一台定量自动秤约在1880年获得型式批准的，它是由倾斜象限杆秤发展来的，每次约可称量500 kg。这种自动秤的称量过程分以下几个阶段：

- a. 打开装满散料的容器；
- b. 把散料输入到秤斗里进行称量；
- c. 到达平衡位置时，关闭进料闸门；
- d. 自动卸空料斗；
- e. 秤斗和气动联动装置回到初位始置，自动地启动下一个称量过程。

（五）近代衡器制造业的发展

1. 机械式衡器发展

随着贸易和工业发展的需要，急需能进行快速称量的衡器。但由于计量法规的制约，在1876年就应用于铁路运输部门的倾斜杠杆秤，直到第一次世界大战后的1921年才被批准用于一般贸易。但由于其误差大于已被人们习惯了的架盘天平，所以一开始难以被大家接受。直至1925年首次型式批准后，才迅速普及。当时以倾斜杠杆式案秤占绝大多数，读数装置除扇形度盘外，还有滚筒形度盘，从而扩大了读数范围并可附加价格标尺。以后又出现了用于工业的带双摆锤测量机构的圆形度盘指针式秤和成本低廉、带投影标尺的倾斜杠杆秤。

2. 电子技术渗入衡器制造业

随着第二次世界大战后的经济繁荣，为了把衡器引入生产工艺过程中去，对衡器提出了新的要求。希望称重过程自动化，为此电子技术不断渗入衡器制造业。在1954年使用了带新式打印机的倾斜杠杆式秤。其输出信号能控制商用结算器，并且用电磁铁机构与代替人工

操作的按键与办公机器联用。在 1960 年开发出了与衡器相联的专门称量值打印机。当时的带电子装置的衡器其称量工作是机械式的，但与称量有关的显示、记录、远传式控制等功能是电子方式的。

(1) 衡器自行指示打印机构的发展

自行指示式衡器的称量结果，通常是由倾斜杠杆的偏转式弹簧施力点的位移被传递给指针式玻璃标尺，再由能把称量值尾数进行模拟编码的机构，诸如增量编码器、瞬时值编码器、光电式扫描码盘等变成数字量。第一台按十进制码盘的衡器是在 1953 年获得型式批准的。

(2) 电子控制机构在机械秤上的应用

在使用机械秤进行配料时，为达到自动控制的目的，将度盘指针采用光电方式作成固定式自动配料装置的控制开关，来控制各种原料成分的进料。

3. 电子秤步入社会

电子秤的发展过程与其它事物一样，也经历了由简单到复杂、由粗糙到精密、由机械到机电结合再到全电子化、由单一功能到多功能的过程。特别是近 30 年以来，工艺流程中的现场称重、配料定量称重、以及产品质量的监测等工作，都离不开能输出电信号的电子衡器。这是由于电子衡器不仅能给出质量或重量值的信号，而且也能作为总系统中的一个单元承担着控制和检验功能，从而推进工业生产和贸易交往的自动化和合理化。

近年来，电子衡器已愈来愈多地参与到数据处理和过程控制之中。现代称重技术和数据系统已经成为工艺技术、储运技术、预包装技术、收货业务及商业销售领域中不可缺少的组成部分。

我国的衡器在 20 世纪 40 年代以前还全是机械式的，40 年代开始发展了机电结合式的衡器。50 年代开始出现了以称重传感器为主的电子衡器。由于称重传感器（特别是电阻应变式称重传感器）各项性能不断有新的突破，为电子秤的发展奠定了基础。国外如美国、西欧等一些国家在 20 世纪 60 年代就出现了 0.1% 称量准确度的电子秤，并在 70 年代中期约对 75% 的机械秤进行了机电结合式的电子化改造。到目前为止，电子秤的发展方兴未艾，并向着群控、程控和智能化猛进。

我国电子秤技术在 70 年代中由于电阻应变式称重传感器技术上的突破，也取得了历史性的进展。各种电子秤如雨后春笋，被国民经济各部门逐步应用。如冶金工业中生产过程的物料配比称重和钢水包浇注铸件的称重，轻纺工业生产过程中的工艺称重和打包计量、煤炭能源工业中的连续物料称重计量和能源结算、储运物资部门材料核算和物资称重、食品工业中的自动检验和分选称量、饲料的配料称重、电子元器件生产过程的计数称重以及日常生活中商业贸易流通领域的计价称重等均离不开电子秤技术。另外在交通运输部门的汽车机车的轮重、轴重计量、建筑部门起重吊装设备的超载保护等也离不开电子秤技术。在医疗领域为研究人体的新陈代谢和热量的调节机能，以获得人体因出汗和因心脏脉动而引起体重减少的多种连续曲线等也离不开电子称重装置。以上仅是电子秤技术在国民经济中应用的几个方面，从这些例子已足以看出电子秤技术的重要性和它应用的广泛性。总之，电子秤技术在社会进步中发挥着它的作用，并且已为人们越来越重视。