

# 计量测试技术手册

## 第4卷 力学(一)

《计量测试技术手册》编辑委员会



中国计量出版社



# 计量测试技术手册

## 第4卷 力学(一)

质量 容量 密度 粘度 重力

《计量测试技术手册》编辑委员会

中国计量出版社

(京)新登字 024 号

## 内 容 提 要

《计量测试技术手册》包括计量测试技术基础、几何量、温度、力学、电磁学、电子学、声学、光学、时间频率、电离辐射、化学等量的计量测试技术,全套共 13 卷。

本书为《计量测试技术手册》第 4 卷力学(一),内容包括质量、容量、密度、粘度、重力五篇。主要阐述质量、容量、密度、粘度、重力计量的各计量仪表基础理论、测量原理、仪表结构及仪表的检定、安装、使用、维护和选用方法,同时还介绍了相应的校准装置与量值传递系统等。

本书供从事计量测试工作的科技人员、管理人员查阅使用,也可供其他有关人员参考。

## Abstract

《Handbook of Measurement Technology》consists of the basic principle of measurement and measurement technology for, geometrical quantity, temperature, mechanics, electromagnetism, electronics, acoustics, optics, time and frequency, ionizing radiation, chemistry etc. The whole set consists of 13 volumes.

This book, Mechanics I, is volume 4 of the Handbook, content of which includes mass, capacity of vessel, density, viscosity and gravity. The basic theory, principle of measurement, construction, verification, installation, operation, maintenance and selection of the measuring instruments are described and the dissemination systems of the values of quantities are introduced as well in this book.

## 图书在版编目(CIP)数据

计量测试技术手册 第4卷:力学(一)/《计量测试技术手册》编辑委员会编著. - 北京:中国计量出版社, 1996. 10

ISBN 7-5026-0749-8/TB·464

I. 计… II. 计… III. ①计量-测试技术-手册 ②力学-计量-测试技术 IV. ①TB9-62 ②TB93

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 10414 号

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲 2 号

邮政编码 100013

化学工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

版权所有 不得翻印

\*

787×1092 毫米 16 开本 印张 44 字数 1454 千字

1996 年 11 月第 1 版 1996 年 11 月第 1 次印刷

\*

印数 1-2000 定价: 105.00 元

# 序

当人类文明的曙光照耀着历史长河的源头时,伴随着生产和社会活动的需求,计量就萌发了。我国古时秦始皇施行了度量衡制度,被看作是一项重要政绩,标志着社会的进步。本世纪欧洲各国也制定了计量单位,如英国的英尺、磅等。直至1898年,国际米制公约公布,号召各国采用统一的米制公斤计量标准,可说是顺应社会发展,时代进步的必然产物。随着科学技术和贸易的发展,大概始于本世纪与上世纪之交,计量又从传统的度量衡扩展到众多的新兴领域。各种计量要求的精确程度及实施的复杂性与日俱增,计量已成为一门独立的学科。特别是在今天高新技术迅速发展的时代,计量更是无所不在和不可缺少的科学手段。今天计量测试技术广泛应用于工农业生产、国防建设、科学研究、国内外贸易、医疗卫生,以及人民生活的各个领域。在现代社会中,人们把人、管理、原材料、工艺装备、计量测试技术列为工业生产的五大支柱。计量测试技术也是整个科学技术和国民经济的一项重要技术基础。

在原国家计量局和现国家技术监督局的支持下,由中国计量出版社组织编写的《计量测试技术手册》即将出版。这套手册由100多位长期从事计量测试工作的专家、教授,历经7年编纂而成。该套手册总结了我国40多年来计量科学研究和实践的经验,吸取了国外先进技术,内容丰富,实用性强。并保持了从事计量工作一向遵循的科学上的严谨性,是适用于各个领域科技人员的工具书。

可以指出,编写的手册是一项组织繁杂,集体辛勤劳动的果实,是对我国计量事业做出了一个卓有贡献。为此,谨向所有付出心血的编者表示敬意。



1995年10月18日

---

王大珩教授为中国科学院院士、中国工程院院士、中国高科技产业化研究会理事长、何梁何利基金优秀奖获得者。

## 《计量测试技术手册》编辑委员会

主任委员：陈宽基

副主任委员：倪伟清 徐孝恩 李绍贵 房景富 王东宝

委员：(按姓氏笔画顺序排列)

|     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| 于 渤 | 王朋植 | 王晓莹 | 史元明 | 孙维民 |
| 师克宽 | 刘宝兰 | 刘瑞清 | 陈小林 | 陈艳春 |
| 何 贡 | 何伟仁 | 林宗虎 | 林鸿初 | 金士杰 |
| 施昌彦 | 席德熊 | 徐 鹍 | 黄秉英 | 窦绪昕 |
| 谢 英 | 潘君骅 | 潘秀荣 |     |     |

## 本 卷 编 辑 委 员 会

主 编：施昌彦

副 主 编：黄鸿添 陈艳春

委 员：施汉谦 廉育英 李兴华

陈惠钊 李德禧 沈 杨

本卷责任编委：刘瑞清

本卷责任编辑：陈艳春

版 面 设 计：席秀莲

插 图 设 计：高 彤

责 任 校 对：刘秀英

封 面 设 计：齐洪海

# 前 言

我国的现代计量测试工作,始于本世纪 50 年代初,经过 40 多年的积累和发展,已建成具有门类较为齐全,覆盖全国的计量测试技术网络,在生产、科研和经贸中发挥着生产力的作用。计量测试队伍也从计量行业扩展到各技术领域的计量、测试人员,形成宏大的专业大军。作为这一专业领域的知识积累——编写《计量测试技术手册》,既是广大计量测试人员的要求,也为推进计量测试技术转化为生产力所需要。

《手册》旨在成为计量测试人员和技术科研、设计人员案头技术咨询的必备工具书,力求以技术科学性、数据准确性、资料实用性、查阅方便性来组织书稿内容。全书按计量测试技术各专业立卷,共 13 卷,覆盖了这一技术领域的全貌。各卷按各自专业特点,要求做到既独立完整,又相互协调统一。

《手册》是在原国家计量局和现国家技术监督局的支持和帮助下,由中国计量出版社组织编写的,并成立了各卷的编审委员会,得到了中国计量科学研究院和一些科研单位、大专院校的大力支持,有上百名计量测试技术专家、学者参与了编写工作,历经 7 个多寒暑,为此付出了艰辛的劳动。值此《手册》面世之际,我们谨向支持和参与《手册》编写、编辑出版的所有人员致以敬意!

编写如此浩大又涉及众多学科的《手册》,是一项系统而又细致的工程实践,要做到全面、完整、准确、统一是十分困难的,虽经共同努力,层层把关,也难免存在术语上的不统一,内容上有一定交叉重复,符号不太一致等问题。还会有错漏和不足,诚请广大读者批评指正,以便在《手册》再版和修订中改正。

《计量测试技术手册》编辑委员会

1995 年 9 月

## 编者的话

计量测试是现代科学技术的重要组成部分。力学计量测试的概念、内容和作用,随着科技、生产和社会的发展正在日益扩展、充实和提高。本卷涉及的质量、容量、密度、粘度和重力加速度,作为常用的力学量而倍受重视。它们的量限向两端延伸,测量的灵敏度、重复性和准确度不断提高,并为适应动态测量、多功能测量、数字化测量、在线测量和自动化测量的要求,而不断改进测试手段和提出新的测量方法。本卷对以上各量的测量原理进行分类叙述,以便于科技人员和管理人员迅速掌握测量方法及选用相应的计量器具。

本卷分为5篇,即:质量篇、容量篇、密度篇、粘度篇和重力篇,主要阐述基本概念、基础理论、结构原理、安装调试、检定使用及维护检修,同时介绍了相应的计量基、标准装置和量值传递系统等。本卷还选用了力学计量测试的新技术、新成就和新的计量法规、标准。在撰编过程中力求内容丰富、引用数据可靠、表述简明扼要,以便于读者查用。

本卷的质量篇由施汉谦编写,容量篇由廉育英编写,密度篇由李兴华编写,粘度篇由陈惠钊编写,重力篇由李德禧编写。编写大纲得到杨迪同志帮助。全卷由黄鸿添、陈艳春和施昌彦统稿完成。

撰编手册是一项繁复而细致的工作,限于水平与时间关系,缺点及疏漏之处在所难免,诚望读者批评指正。

施昌彦

# 目 录

## 第 1 篇 质 量

### 第 1 章 概 述

|                       |       |
|-----------------------|-------|
| 1 质量与质量计量 .....       | ( 1 ) |
| 2 质量计量的特性 .....       | ( 1 ) |
| 2.1 质量、重量与重力 .....    | ( 1 ) |
| 2.2 质量计量基准 .....      | ( 1 ) |
| 2.3 质量精密计量的应用 .....   | ( 2 ) |
| 3 质量计量在国民经济中的作用 ..... | ( 6 ) |

### 第 2 章 质量计量的基本概念

|                          |        |
|--------------------------|--------|
| 1 质量的定义 .....            | ( 7 )  |
| 1.1 惯性质量 .....           | ( 7 )  |
| 1.2 引力质量 .....           | ( 7 )  |
| 1.3 引力质量和惯性质量之间的关系 ..... | ( 7 )  |
| 2 质量计量单位 .....           | ( 8 )  |
| 2.1 质量的主单位 .....         | ( 8 )  |
| 2.2 质量单位的分数和倍数单位 .....   | ( 8 )  |
| 2.3 质量单位的换算 .....        | ( 8 )  |
| 3 质量计量的分类 .....          | ( 10 ) |
| 3.1 非自动、静态质量计量 .....     | ( 10 ) |
| 3.2 自动、动态质量计量 .....      | ( 10 ) |
| 3.3 两类质量计量的准确度表述 .....   | ( 11 ) |
| 4 质量计量的原理和方法 .....       | ( 11 ) |
| 4.1 质量计量的原理 .....        | ( 11 ) |
| 4.2 质量计量方法 .....         | ( 12 ) |
| 4.3 称量法的选择 .....         | ( 14 ) |
| 5 质量计量的必要条件及设备 .....     | ( 14 ) |
| 5.1 环境条件 .....           | ( 14 ) |
| 5.2 量具 砝码 .....          | ( 14 ) |
| 5.3 衡器 .....             | ( 15 ) |
| 6 质量计量所能达到的不确定度 .....    | ( 22 ) |

### 第 3 章 砝 码

|                 |        |
|-----------------|--------|
| 1 砝码的基本概念 ..... | ( 23 ) |
|-----------------|--------|

|                                      |        |
|--------------------------------------|--------|
| 1.1 砝码的标称质量、实际质量、表观<br>质量和折算质量 ..... | ( 23 ) |
| 1.2 砝码的检定精度、修正值和<br>质量允差 .....       | ( 23 ) |
| 1.3 砝码的示值误差和砝码的<br>准确度等级 .....       | ( 23 ) |
| 2 砝码的分类原则、技术要求和<br>允差规定 .....        | ( 24 ) |
| 2.1 砝码的分类及其用途 .....                  | ( 24 ) |
| 2.2 砝码的技术要求 .....                    | ( 25 ) |
| 3 砝码及其组合方法 .....                     | ( 27 ) |
| 3.1 砝码的组合原则 .....                    | ( 27 ) |
| 3.2 砝码的组合形式 .....                    | ( 27 ) |
| 3.3 不同砝码组合制的优缺点 .....                | ( 28 ) |
| 4 砝码的检定方法 .....                      | ( 28 ) |
| 4.1 砝码检定须知 .....                     | ( 28 ) |
| 4.2 比例称量法——直接称量法 .....               | ( 30 ) |
| 4.3 精密称量法 .....                      | ( 30 ) |
| 5 砝码材料的统一约定密度和<br>折算质量 .....         | ( 42 ) |
| 5.1 砝码的实际质量与折算<br>质量的关系 .....        | ( 42 ) |
| 5.2 采用统一名义密度后砝码量值的<br>改变和误差问题 .....  | ( 42 ) |
| 6 空气密度和砝码的空气<br>浮力修正 .....           | ( 43 ) |
| 6.1 空气密度 .....                       | ( 43 ) |
| 6.2 砝码的空气浮力修正方法 .....                | ( 43 ) |
| 7 砝码材料密度和体积的测定 .....                 | ( 44 ) |
| 7.1 砝码材料密度和体积的规定 .....               | ( 44 ) |
| 7.2 砝码体积的测定方法 .....                  | ( 44 ) |
| 8 砝码检定中的误差问题 .....                   | ( 47 ) |
| 8.1 系统误差及其消除方法 .....                 | ( 47 ) |



|                      |        |
|----------------------|--------|
| 8.2 偶然误差及其判别法 .....  | ( 48 ) |
| 8.3 疏失误差及其判别法 .....  | ( 48 ) |
| 8.4 累进误差及其消除方法 ..... | ( 48 ) |
| 9 砝码的使用和维护 .....     | ( 49 ) |

## 第4章 天平

|                                    |        |
|------------------------------------|--------|
| 1 天平的基本概念 .....                    | ( 51 ) |
| 1.1 天平的定义 .....                    | ( 51 ) |
| 1.2 天平的分类、名称和选用原则 .....            | ( 51 ) |
| 1.3 天平的结构类型 .....                  | ( 54 ) |
| 2 杠杆天平 .....                       | ( 54 ) |
| 2.1 杠杆天平的基本概念和原理 .....             | ( 54 ) |
| 2.2 杠杆天平的结构 .....                  | ( 55 ) |
| 2.3 杠杆天平的计量学性能<br>及其相互关系 .....     | ( 55 ) |
| 2.4 杠杆天平摆动周期和<br>摆动的衰减比 .....      | ( 59 ) |
| 2.5 杠杆天平平衡位置的确定<br>及计算公式 .....     | ( 60 ) |
| 2.6 杠杆天平摆动周期与稳定性关系 .....           | ( 60 ) |
| 2.7 杠杆天平的带针、跳针、耳折现象<br>及排除方法 ..... | ( 61 ) |
| 2.8 杠杆天平空、全载分度值的差异<br>及其消除方法 ..... | ( 61 ) |
| 2.9 杠杆天平的检定 .....                  | ( 61 ) |
| 3 弹性变形式天平 .....                    | ( 71 ) |
| 3.1 扭力天平 .....                     | ( 71 ) |
| 3.2 弹簧天平 .....                     | ( 74 ) |
| 3.3 悬臂天平 .....                     | ( 75 ) |
| 4 称重传感器式天平 .....                   | ( 76 ) |
| 4.1 电子天平的分类 .....                  | ( 76 ) |
| 4.2 对用于电子天平称重<br>传感器的要求 .....      | ( 76 ) |
| 4.3 典型电子天平的工作原理和结构 .....           | ( 77 ) |
| 4.4 电子天平的检定 .....                  | ( 78 ) |

## 第5章 秤

|                      |        |
|----------------------|--------|
| 1 秤的基本概念、分类和结构 ..... | ( 84 ) |
| 1.1 秤的基本概念 .....     | ( 84 ) |
| 1.2 秤的分类 .....       | ( 84 ) |
| 1.3 秤的结构 .....       | ( 85 ) |
| 2 非自动秤 .....         | ( 87 ) |
| 2.1 非自动秤的基本概念 .....  | ( 87 ) |
| 2.2 非自动秤的结构类型 .....  | ( 87 ) |

|                                      |         |
|--------------------------------------|---------|
| 2.3 非自动秤的允差和准确度要求 .....              | ( 88 )  |
| 2.4 对非自动秤检定标准器的要求 .....              | ( 90 )  |
| 2.5 非自动秤的鉴别力 .....                   | ( 90 )  |
| 2.6 非自动秤由影响量和时间<br>所引起的变化 .....      | ( 90 )  |
| 3 杠杆秤 .....                          | ( 91 )  |
| 3.1 杠杆的基本概念 .....                    | ( 91 )  |
| 3.2 移动式杠杆秤 .....                     | ( 93 )  |
| 3.3 固定式杠杆秤 .....                     | ( 104 ) |
| 3.4 杠杆秤本身误差的来源<br>及消除方法 .....        | ( 108 ) |
| 4 弹簧秤 .....                          | ( 110 ) |
| 4.1 弹性变形与外力的关系 .....                 | ( 110 ) |
| 4.2 弹簧元件的灵敏度、稳定性和<br>振动周期 .....      | ( 111 ) |
| 4.3 弹簧元件的误差来源 .....                  | ( 112 ) |
| 4.4 弹簧度盘秤的计量性能<br>及检定要求 .....        | ( 112 ) |
| 5 机电结合秤 .....                        | ( 114 ) |
| 5.1 偏心轮摆锤机构 .....                    | ( 114 ) |
| 5.2 光栅机电秤 .....                      | ( 114 ) |
| 5.3 码盘机电秤 .....                      | ( 119 ) |
| 5.4 感应同步机电秤 .....                    | ( 120 ) |
| 5.5 电磁力平衡机电秤 .....                   | ( 121 ) |
| 5.6 陀螺机电秤 .....                      | ( 122 ) |
| 5.7 电阻应变机电秤 .....                    | ( 122 ) |
| 5.8 各种机电秤的性能比较 .....                 | ( 124 ) |
| 6 电子秤 .....                          | ( 124 ) |
| 6.1 电子秤的组成 .....                     | ( 125 ) |
| 6.2 电子秤常用各种称重传感器的<br>结构原理和测量电路 ..... | ( 125 ) |
| 6.3 电阻应变式称重传感器技术要点 .....             | ( 135 ) |
| 6.4 电子秤的指示仪表 .....                   | ( 137 ) |
| 6.5 电子秤的特殊测量技术 .....                 | ( 144 ) |
| 6.6 电子秤的传力复位系统<br>及附属装置 .....        | ( 148 ) |
| 6.7 电子秤的计量性能要求及其检定 .....             | ( 149 ) |

## 第6章 质量量值的统一和传递

|                        |         |
|------------------------|---------|
| 1 质量量值统一和传递的概念 .....   | ( 161 ) |
| 1.1 质量量值及统一 .....      | ( 161 ) |
| 1.2 质量量值的真值和约定真值 ..... | ( 161 ) |
| 1.3 质量量值的传递 .....      | ( 161 ) |
| 2 质量量值传递的必要性 .....     | ( 162 ) |

|                                  |       |
|----------------------------------|-------|
| 3 质量量值传递与保证质量量值<br>准确一致的基础 ..... | (162) |
| 4 质量量值传递系统 .....                 | (162) |
| 4.1 质量计量基准 .....                 | (162) |
| 4.2 质量计量标准器具 .....               | (164) |
| 4.3 国家质量计量器具检定系统表 .....          | (164) |
| 5 质量量值传递方式 .....                 | (166) |
| 5.1 用实物砝码标准进行逐级传递 .....          | (166) |
| 5.2 用传递砝码标准进行全面<br>考核(MAP) ..... | (166) |

## 第7章 质量计量的发展动态

|                                |       |
|--------------------------------|-------|
| 1 关于各国公斤原器的<br>国际比对 .....      | (168) |
| 1.1 第一、二次各国公斤原器的<br>国际比对 ..... | (168) |
| 1.2 我国公斤原器的概况 .....            | (169) |
| 1.3 各国公斤原器的第三次国际比对 .....       | (169) |
| 2 原器天平的研制动态 .....              | (170) |
| 2.1 等臂原器天平 .....               | (170) |
| 2.2 单盘原器天平 .....               | (172) |
| 2.3 液体静力平衡式千克质量比较仪 .....       | (172) |
| 2.4 电子天平(千克比较仪) .....          | (172) |
| 3 用于质量标准的材料表面                  |       |

|                                  |       |
|----------------------------------|-------|
| 效应的研究 .....                      | (172) |
| 3.1 铂-铱合金材料表面效应的研究 .....         | (172) |
| 3.2 不锈钢材料表面效应的研究 .....           | (173) |
| 4 空气密度统一计算公式 .....               | (174) |
| 4.1 过去空气密度的计算公式 .....            | (174) |
| 4.2 新推荐的空气密度计算公式 .....           | (175) |
| 4.3 “浮力法”计量空气密度 .....            | (175) |
| 5 湿度影响的修正公式 .....                | (175) |
| 6 质量自然基准的研究动态 .....              | (175) |
| 6.1 概述 .....                     | (175) |
| 6.2 硅晶体方案 .....                  | (176) |
| 6.3 通过移动线圈装置重新定义千克 .....         | (177) |
| 6.4 通过机械功率和电功率比较<br>监视质量标准 ..... | (177) |
| 6.5 用基本常数替代千克基准的<br>可能性 .....    | (177) |

## 附 录

|                                        |       |
|----------------------------------------|-------|
| 附录1 我国有关衡器的国家标准<br>和检定规程目录 .....       | (178) |
| 附录2 国际法制计量组织(OIML)<br>与质量计量有关的建议 ..... | (179) |
| 参考文献 .....                             | (180) |

# 第2篇 容 量

## 第8章 概 述

|                     |       |
|---------------------|-------|
| 1 容量的定义与量器的分类 ..... | (181) |
| 2 容积单位及其换算系数 .....  | (181) |
| 3 容积与温度的关系 .....    | (183) |
| 4 标称容积与偏差 .....     | (183) |
| 5 量入式与量出式量器 .....   | (183) |

## 第9章 容量的基、标准及量值传递系统

|                         |       |
|-------------------------|-------|
| 1 检定系统制定的基本原则 .....     | (184) |
| 2 国家容量基准 .....          | (184) |
| 2.1 用途 .....            | (184) |
| 2.2 基准的全套主要计量器具名称 ..... | (184) |
| 2.3 基准复现量的范围 .....      | (185) |
| 2.4 基准的总不确定度 .....      | (185) |
| 3 标准器具 .....            | (185) |

|                                                    |       |
|----------------------------------------------------|-------|
| 3.1 各等级标准量器的测量范围 .....                             | (185) |
| 3.2 各等级标准量器的总不确定度 $\delta$<br>或允许误差 $\Delta$ ..... | (185) |
| 4 检定系统框图 .....                                     | (185) |

## 第10章 容量计量的原理与方法

|                                 |       |
|---------------------------------|-------|
| 1 玻璃量器 .....                    | (187) |
| 1.1 量器的等级分类 .....               | (187) |
| 1.2 液面的定位方法 .....               | (187) |
| 1.3 衡量法及其应用范围 .....             | (187) |
| 1.4 衡量法计量原理 .....               | (187) |
| 1.5 衡量法计量的一般步骤与方法 .....         | (213) |
| 1.6 容量比较法及其应用 .....             | (220) |
| 2 标准金属量器 .....                  | (221) |
| 2.1 金属量器的特点与分类 .....            | (221) |
| 2.2 一等标准金属量器容积<br>检测(衡量法) ..... | (221) |

|                                          |       |
|------------------------------------------|-------|
| 2.3 二等以下(含二等)标准金属量器<br>容积检测(容量比较法) ..... | (235) |
| 3 电动计量加油机 .....                          | (236) |
| 3.1 计量加油机工作原理 .....                      | (236) |
| 3.2 加油机示值检测原理 .....                      | (236) |
| 3.3 加油机示值检测方法与步骤 .....                   | (236) |
| 3.4 检测结果的处理 .....                        | (237) |
| 4 汽车罐车 .....                             | (238) |
| 4.1 容积检测原理与方法 .....                      | (238) |
| 4.2 容积检测结果的数据处理 .....                    | (238) |
| 5 立式金属罐 .....                            | (240) |
| 5.1 容积计量原理 .....                         | (240) |
| 5.2 最小计量体积 .....                         | (240) |
| 5.3 各圈板的内径测量 .....                       | (241) |
| 5.4 各圈板的内高测量 .....                       | (243) |
| 5.5 液体静压力效应修正值的计算 .....                  | (244) |
| 5.6 罐底量与罐底不平度修正值<br>测量与计算 .....          | (245) |
| 5.7 罐内附件修正值的测量 .....                     | (246) |
| 5.8 罐体倾斜修正值的计算 .....                     | (246) |
| 5.9 容量表的编制 .....                         | (247) |
| 5.10 浮顶罐的容量测量 .....                      | (247) |
| 5.11 实际使用时罐内液体体积的计算 .....                | (248) |
| 6 卧式金属罐 .....                            | (248) |
| 6.1 计量原理及其测量方法 .....                     | (248) |
| 6.2 容积计算 .....                           | (253) |
| 6.3 倾斜卧式罐的容积计算 .....                     | (310) |
| 7 球形罐 .....                              | (311) |
| 7.1 围尺法 .....                            | (312) |
| 7.2 经纬仪法 .....                           | (313) |
| 7.3 压力对球罐容积的影响 .....                     | (315) |
| 8 罐内油温的测量 .....                          | (315) |
| 9 罐内液体质量的确定 .....                        | (316) |
| 10 油罐储液质量自动化<br>计量新方法 .....              | (319) |

|                |       |
|----------------|-------|
| 10.1 静压法 ..... | (319) |
| 10.2 浮力法 ..... | (320) |

## 第11章 容量计量的条件和设备

|                   |       |
|-------------------|-------|
| 1 玻璃量器衡量法 .....   | (321) |
| 1.1 环境条件 .....    | (321) |
| 1.2 检测设备 .....    | (321) |
| 2 玻璃量器容量比较法 ..... | (321) |
| 2.1 环境条件 .....    | (321) |
| 2.2 检测设备 .....    | (321) |
| 3 一等标准金属量器 .....  | (321) |
| 4 二等标准金属量器 .....  | (322) |
| 4.1 环境条件 .....    | (322) |
| 4.2 检测设备 .....    | (322) |
| 5 电动计量加油机 .....   | (322) |
| 5.1 环境条件 .....    | (322) |
| 5.2 检测设备 .....    | (322) |
| 6 汽车罐车 .....      | (322) |
| 6.1 环境条件 .....    | (322) |
| 6.2 检测设备 .....    | (323) |
| 7 立式金属罐 .....     | (323) |
| 7.1 检测条件 .....    | (323) |
| 7.2 检测设备 .....    | (323) |
| 8 卧式金属罐 .....     | (323) |
| 8.1 检测条件 .....    | (323) |
| 8.2 检测设备 .....    | (323) |
| 9 球形金属罐 .....     | (324) |
| 9.1 检测条件 .....    | (324) |
| 9.2 检测设备 .....    | (324) |
| 10 船舱 .....       | (324) |
| 10.1 检测条件 .....   | (324) |
| 10.2 检测设备 .....   | (325) |
| 参考文献 .....        | (326) |

## 第3篇 密度

### 第12章 基本概念

|               |       |
|---------------|-------|
| 1 概述 .....    | (327) |
| 2 定义及单位 ..... | (327) |
| 2.1 密度 .....  | (327) |

|                     |       |
|---------------------|-------|
| 2.2 相对密度 .....      | (328) |
| 2.3 分子(粒子)数密度 ..... | (328) |
| 2.4 比体积 .....       | (328) |
| 2.5 浓度 .....        | (329) |
| 3 密度与温度、压力的关系 ..... | (330) |
| 3.1 密度与温度的关系 .....  | (330) |

|                    |         |
|--------------------|---------|
| 3.2 密度与压力的关系 ..... | ( 331 ) |
| 4 单位换算 .....       | ( 332 ) |

## 第 13 章 测量法及其仪器分类

### 第 14 章 液体密度测量方法和仪器

|                            |         |
|----------------------------|---------|
| 1 流体静力称量法 .....            | ( 339 ) |
| 1.1 液体静力天平法 .....          | ( 339 ) |
| 1.2 双浮子称量法 .....           | ( 341 ) |
| 1.3 韦氏天平法 .....            | ( 342 ) |
| 1.4 杠杆静力天平法 .....          | ( 342 ) |
| 1.5 液体静力秤法 .....           | ( 343 ) |
| 2 密度瓶法 .....               | ( 343 ) |
| 2.1 密度瓶种类及参数 .....         | ( 343 ) |
| 2.2 密度计算式 .....            | ( 345 ) |
| 2.3 灌注液体装置 .....           | ( 346 ) |
| 2.4 测量影响因素 .....           | ( 347 ) |
| 2.5 有关标准 .....             | ( 347 ) |
| 3 浮计法 .....                | ( 347 ) |
| 3.1 浮计种类及参数 .....          | ( 347 ) |
| 3.2 有关浮计参数的计算式 .....       | ( 349 ) |
| 3.3 测量仪器与方法 .....          | ( 350 ) |
| 3.4 测量影响因素及修正 .....        | ( 351 ) |
| 3.5 浮计的校准方法 .....          | ( 356 ) |
| 3.6 浮计的检定 .....            | ( 357 ) |
| 3.7 有关标准 .....             | ( 360 ) |
| 4 石油和液化石油气密度的测量 .....      | ( 369 ) |
| 4.1 液态石油及石油产品密度的测量 .....   | ( 369 ) |
| 4.2 液化石油气密度的测量 .....       | ( 370 ) |
| 4.3 有关标准 .....             | ( 370 ) |
| 5 酒精溶液密度、浓度与温度的关系 .....    | ( 374 ) |
| 5.1 国际酒精表 .....            | ( 374 ) |
| 5.2 有关标准 .....             | ( 386 ) |
| 6 糖溶液密度、浓度和温度的关系 .....     | ( 387 ) |
| 7 海水密度、盐度和温度、压力的关系 .....   | ( 388 ) |
| 7.1 1978 年国际实用盐标 .....     | ( 388 ) |
| 7.2 1980 年新国际海水状态方程式 ..... | ( 388 ) |

### 第 15 章 固体密度测量方法和仪器

|                 |         |
|-----------------|---------|
| 1 流体静力称量法 ..... | ( 390 ) |
|-----------------|---------|

|                          |         |
|--------------------------|---------|
| 1.1 液体静力天平法 .....        | ( 390 ) |
| 1.2 韦氏天平法 .....          | ( 391 ) |
| 1.3 杠杆静力天平法 .....        | ( 391 ) |
| 1.4 液体静力秤法 .....         | ( 392 ) |
| 2 密度瓶法 .....             | ( 392 ) |
| 2.1 密度瓶及测量装置 .....       | ( 392 ) |
| 2.2 密度计算式 .....          | ( 392 ) |
| 2.3 测量影响因素 .....         | ( 393 ) |
| 3 利用两种液体的浮力法 .....       | ( 393 ) |
| 4 密度梯度管法 .....           | ( 393 ) |
| 4.1 测量装置 .....           | ( 393 ) |
| 4.2 密度梯度液配制方法 .....      | ( 394 ) |
| 4.3 密度梯度管校准方法 .....      | ( 395 ) |
| 4.4 试样密度计算 .....         | ( 395 ) |
| 5 浮沉子法 .....             | ( 396 ) |
| 6 粉粒体密度的测量 .....         | ( 396 ) |
| 6.1 定容压缩法 .....          | ( 397 ) |
| 6.2 压力比较法 .....          | ( 397 ) |
| 6.3 自然堆积 — 松密度测量装置 ..... | ( 398 ) |

### 第 16 章 气体密度测量方法和仪器

|                                |         |
|--------------------------------|---------|
| 1 流体静力称量法 .....                | ( 399 ) |
| 2 密度瓶法 .....                   | ( 399 ) |
| 3 气态方程密度计算法 .....              | ( 400 ) |
| 3.1 单一气体和混合气体的密度和相对密度的计算 ..... | ( 400 ) |
| 3.2 湿气密度的计算 .....              | ( 402 ) |
| 3.3 气体压缩因子 .....               | ( 402 ) |
| 4 气体密度天平法 .....                | ( 403 ) |
| 5 气体流出法 .....                  | ( 404 ) |
| 6 空气密度的测量 .....                | ( 405 ) |
| 6.1 国际上用以确定湿空气密度的通用公式 .....    | ( 405 ) |
| 6.2 用双浮子法直接测定空气密度 .....        | ( 411 ) |

### 第 17 章 密度标准及其量值传递

|                      |         |
|----------------------|---------|
| 1 密度标准参考物质 .....     | ( 413 ) |
| 1.1 纯水密度 .....       | ( 413 ) |
| 1.2 纯汞密度 .....       | ( 416 ) |
| 1.3 干空气密度 .....      | ( 421 ) |
| 1.4 其它密度标准参考物质 ..... | ( 421 ) |
| 2 液体密度标准及其量值传递 ..... | ( 425 ) |
| 2.1 密度标准建立方法 .....   | ( 425 ) |

|                      |       |
|----------------------|-------|
| 2.2 密度量值传递方法 .....   | (425) |
| 3 固体密度标准及其量值传递 ..... | (427) |
| 3.1 密度标准建立方法 .....   | (427) |
| 3.2 密度量值传递方法 .....   | (427) |

## 第18章 工业测量方法和仪器

|                   |       |
|-------------------|-------|
| 1 密度计的构成及选用 ..... | (429) |
| 2 测量方法及密度计 .....  | (429) |
| 2.1 浮子法 .....     | (429) |
| 2.2 静压法 .....     | (432) |
| 2.3 连续称量法 .....   | (434) |
| 2.4 射线法 .....     | (434) |
| 2.5 声学法 .....     | (435) |
| 2.6 气柱平衡法 .....   | (437) |
| 2.7 离心力法 .....    | (437) |
| 2.8 转矩法 .....     | (437) |
| 2.9 振动法 .....     | (438) |
| 2.10 光学法 .....    | (449) |
| 2.11 电导法 .....    | (454) |
| 2.12 电磁法 .....    | (459) |
| 2.13 热导法 .....    | (460) |

|                        |       |
|------------------------|-------|
| 2.14 介电常数法 .....       | (462) |
| 3 密度测量的应用 .....        | (463) |
| 3.1 液体密度测量的应用 .....    | (463) |
| 3.2 气体密度测量的应用 .....    | (464) |
| 4 密度计的校准与检验 .....      | (465) |
| 4.1 实验室校准密度计基本方法 ..... | (465) |
| 4.2 现场检验密度计 .....      | (465) |
| 4.3 日常检验密度计方法 .....    | (466) |
| 5 密度计的安装 .....         | (466) |
| 6 安全预防措施 .....         | (467) |

## 附录 有关国内、外标准

|                                                   |       |
|---------------------------------------------------|-------|
| 附录1 国家标准(GB)和检定<br>规程(JJG) .....                  | (468) |
| 附录2 国际标准(ISO)和国际<br>法制计量组织国际建议<br>(OIML RI) ..... | (469) |
| 附录3 一些国家的标准 .....                                 | (470) |
| 参考文献 .....                                        | (475) |

# 第4篇 粘 度

## 第19章 粘度基本概念

|                     |       |
|---------------------|-------|
| 1 流体的粘性与粘度 .....    | (477) |
| 1.1 粘性与粘度的概念 .....  | (477) |
| 1.2 牛顿粘性定律 .....    | (477) |
| 2 粘度的定义及单位 .....    | (478) |
| 2.1 动力粘度与运动粘度 ..... | (478) |
| 2.2 条件粘度 .....      | (481) |
| 2.3 溶液的粘度 .....     | (481) |
| 3 粘度与温度、压力的关系 ..... | (482) |
| 3.1 粘度与温度的关系 .....  | (482) |
| 3.2 粘度与压力的关系 .....  | (487) |
| 4 粘度测量及其意义 .....    | (491) |
| 4.1 粘度测量法 .....     | (491) |
| 4.2 粘度测量的意义 .....   | (492) |

## 第20章 毛细管法

|                      |       |
|----------------------|-------|
| 1 动力粘度的绝对测量法 .....   | (496) |
| 1.1 测量原理——泊氏定律 ..... | (496) |
| 1.2 测量仪器与测量方法 .....  | (497) |

|                         |       |
|-------------------------|-------|
| 2 运动粘度(相对)测量法 .....     | (499) |
| 2.1 测量原理 .....          | (499) |
| 2.2 测量仪器与测量方法 .....     | (499) |
| 2.3 影响因素与误差源 .....      | (510) |
| 3 溶液粘度测量法 .....         | (512) |
| 3.1 粘度计 .....           | (512) |
| 3.2 测量方法 .....          | (512) |
| 4 其他实验室毛细管粘度计 .....     | (513) |
| 4.1 液柱高度可变式毛细管粘度计 ..... | (513) |
| 4.2 加压式毛细管粘度计 .....     | (514) |
| 4.3 毛细管挤压式粘度计 .....     | (515) |

## 第21章 落体法

|                   |       |
|-------------------|-------|
| 1 落球法 .....       | (516) |
| 1.1 直落式 .....     | (516) |
| 1.2 滚落式 .....     | (518) |
| 1.3 其他落球粘度计 ..... | (520) |
| 2 落柱法 .....       | (521) |
| 2.1 陷入式 .....     | (521) |
| 2.2 套筒式 .....     | (522) |



|                       |         |
|-----------------------|---------|
| 3 气泡法 .....           | ( 523 ) |
| 3.1 原理 .....          | ( 523 ) |
| 3.2 气泡粘度计 .....       | ( 524 ) |
| 4 其他形式的实验室落体粘度计 ..... | ( 524 ) |
| 4.1 葛德纳淌度计 .....      | ( 524 ) |
| 4.2 SIL 淌度计 .....     | ( 525 ) |
| 4.3 降落值仪 .....        | ( 525 ) |

## 第 22 章 旋转法

|                        |         |
|------------------------|---------|
| 1 原理 .....             | ( 526 ) |
| 1.1 同轴圆筒式 .....        | ( 526 ) |
| 1.2 单圆筒式 .....         | ( 527 ) |
| 1.3 双间隙式 .....         | ( 527 ) |
| 1.4 锥-板式 .....         | ( 528 ) |
| 1.5 双锥式 .....          | ( 529 ) |
| 1.6 锥-筒式 .....         | ( 529 ) |
| 1.7 圆盘式 .....          | ( 529 ) |
| 1.8 双半球式 .....         | ( 530 ) |
| 1.9 双半椭球式 .....        | ( 530 ) |
| 1.10 单球式 .....         | ( 531 ) |
| 2 影响因素 .....           | ( 531 ) |
| 2.1 末端效应 .....         | ( 531 ) |
| 2.2 偏心 .....           | ( 534 ) |
| 2.3 剪切热 .....          | ( 535 ) |
| 2.4 温度梯度 .....         | ( 535 ) |
| 2.5 仪器热膨胀 .....        | ( 535 ) |
| 2.6 液体热膨胀 .....        | ( 535 ) |
| 2.7 湍流 .....           | ( 535 ) |
| 2.8 二次流 .....          | ( 535 ) |
| 2.9 滑移 .....           | ( 535 ) |
| 2.10 转速变化 .....        | ( 536 ) |
| 2.11 仪器的自身摩擦 .....     | ( 536 ) |
| 3 旋转粘度计的组成、结构与分类 ..... | ( 536 ) |
| 3.1 旋转粘度计的组成 .....     | ( 536 ) |
| 3.2 旋转粘度计的结构原理 .....   | ( 537 ) |
| 3.3 旋转粘度计的分类 .....     | ( 540 ) |
| 4 旋转粘度计 .....          | ( 540 ) |
| 4.1 同轴圆筒式 .....        | ( 540 ) |
| 4.2 单圆筒式 .....         | ( 545 ) |
| 4.3 锥-板式 .....         | ( 547 ) |
| 4.4 旋转粘度计的一般测量方法 ..... | ( 547 ) |
| 4.5 旋转粘度计的检定方法 .....   | ( 548 ) |

## 第 23 章 振动法、平板法与流出杯法

|             |         |
|-------------|---------|
| 1 振动法 ..... | ( 549 ) |
|-------------|---------|

|                            |         |
|----------------------------|---------|
| 1.1 扭转振动式 .....            | ( 549 ) |
| 1.2 振动片式 .....             | ( 549 ) |
| 1.3 振球式 .....              | ( 550 ) |
| 2 平板法 .....                | ( 551 ) |
| 2.1 滑板式 .....              | ( 551 ) |
| 2.2 带式 .....               | ( 551 ) |
| 2.3 压板(横流)式 .....          | ( 552 ) |
| 2.4 倾斜板式 .....             | ( 552 ) |
| 3 流动杯法 .....               | ( 553 ) |
| 3.1 概述 .....               | ( 553 ) |
| 3.2 各种流动杯‘粘度计’ .....       | ( 553 ) |
| 3.3 条件‘粘度’与运动粘度的换算关系 ..... | ( 557 ) |

## 第 24 章 工业流程粘度测量法

|                          |         |
|--------------------------|---------|
| 1 概述 .....               | ( 563 ) |
| 1.1 工业流程粘度测量的应用 .....    | ( 563 ) |
| 1.2 工业流程粘度测量的特点与分类 ..... | ( 563 ) |
| 2 细管法 .....              | ( 564 ) |
| 2.1 原理 .....             | ( 564 ) |
| 2.2 工业流程细管粘度计 .....      | ( 565 ) |
| 3 落体法 .....              | ( 567 ) |
| 3.1 原理 .....             | ( 567 ) |
| 3.2 工业流程落体式粘度计 .....     | ( 567 ) |
| 4 旋转法 .....              | ( 569 ) |
| 4.1 电容变送式 .....          | ( 569 ) |
| 4.2 电位变送式 .....          | ( 569 ) |
| 4.3 弹性拉力式 .....          | ( 569 ) |
| 4.4 无扭矩式 .....           | ( 570 ) |
| 5 振动法 .....              | ( 573 ) |
| 5.1 超声式 .....            | ( 573 ) |
| 5.2 振簧式 .....            | ( 574 ) |
| 5.3 振动片式 .....           | ( 574 ) |
| 6 流出杯法 .....             | ( 575 ) |
| 7 采样、温补系统及粘度计选择 .....    | ( 576 ) |
| 7.1 采样系统 .....           | ( 576 ) |
| 7.2 温度补偿系统 .....         | ( 577 ) |
| 7.3 工业流程粘度计的选择 .....     | ( 577 ) |

## 第 25 章 非牛顿流体及非牛顿粘度测量法

|                     |         |
|---------------------|---------|
| 1 非牛顿流体 .....       | ( 578 ) |
| 1.1 非牛顿流体及其分类 ..... | ( 578 ) |
| 1.2 时间独立性流体 .....   | ( 578 ) |
| 1.3 时间相关性流体 .....   | ( 580 ) |
| 1.4 粘弹性体 .....      | ( 582 ) |

|                   |         |
|-------------------|---------|
| 2 毛细管法 .....      | ( 583 ) |
| 2.1 流场与基本公式 ..... | ( 583 ) |
| 2.2 测量原理 .....    | ( 584 ) |
| 2.3 测量仪器 .....    | ( 584 ) |
| 2.4 毛细管挤出法 .....  | ( 584 ) |
| 3 同轴圆筒旋转法 .....   | ( 587 ) |
| 3.1 流场与基本公式 ..... | ( 587 ) |
| 3.2 测量原理 .....    | ( 589 ) |
| 4 其他方法 .....      | ( 590 ) |
| 4.1 旋转圆板法 .....   | ( 590 ) |
| 4.2 旋转锥-板法 .....  | ( 591 ) |
| 4.3 振动法 .....     | ( 591 ) |
| 4.4 平板法 .....     | ( 591 ) |
| 4.5 落棒法 .....     | ( 592 ) |
| 4.6 其他方法 .....    | ( 593 ) |
| 5 普适量(值) .....    | ( 593 ) |
| 5.1 普适量的概念 .....  | ( 593 ) |
| 5.2 普适值 .....     | ( 593 ) |

## 第 26 章 高温粘度测量法

|                     |         |
|---------------------|---------|
| 1 概述 .....          | ( 595 ) |
| 2 旋转法 .....         | ( 595 ) |
| 2.1 原理 .....        | ( 595 ) |
| 2.2 测量装置 .....      | ( 595 ) |
| 2.3 测量方法 .....      | ( 596 ) |
| 2.4 影响因素 .....      | ( 596 ) |
| 2.5 高温旋转粘度计简介 ..... | ( 597 ) |
| 3 升球法 .....         | ( 598 ) |
| 3.1 原理 .....        | ( 598 ) |
| 3.2 测量装置 .....      | ( 598 ) |
| 3.3 测量方法 .....      | ( 600 ) |
| 3.4 影响因素 .....      | ( 600 ) |
| 4 陷入法 .....         | ( 601 ) |
| 4.1 原理 .....        | ( 601 ) |
| 4.2 测量装置 .....      | ( 601 ) |
| 4.3 测量方法 .....      | ( 601 ) |
| 5 梁弯法 .....         | ( 602 ) |
| 5.1 原理测量与装置 .....   | ( 602 ) |
| 5.2 测量方法 .....      | ( 602 ) |
| 6 纤维伸长法 .....       | ( 603 ) |

|                              |         |
|------------------------------|---------|
| 6.1 原理与测量装置 .....            | ( 603 ) |
| 6.2 测量方法 .....               | ( 603 ) |
| 7 平行板法 .....                 | ( 605 ) |
| 8 试棒扭曲法 .....                | ( 606 ) |
| 9 高温粘度标准物质及高温<br>粘度计标定 ..... | ( 606 ) |
| 9.1 标准硼酐 .....               | ( 606 ) |
| 9.2 标准玻璃 .....               | ( 606 ) |
| 9.3 高温粘度标准物质的定值方法 .....      | ( 607 ) |
| 9.4 高温粘度计的标定 .....           | ( 607 ) |

## 第 27 章 粘度标准与量值传递

|                              |         |
|------------------------------|---------|
| 1 粘度基准与标准 .....              | ( 608 ) |
| 1.1 纯水的粘度 .....              | ( 608 ) |
| 1.2 基准与标准装置 .....            | ( 608 ) |
| 1.3 粘度标准液 .....              | ( 610 ) |
| 2 粘度量值传递 .....               | ( 613 ) |
| 2.1 粘度计量器具检定系统 .....         | ( 613 ) |
| 2.2 粘度量值传递方法 .....           | ( 613 ) |
| 2.3 粘度量值比对 .....             | ( 614 ) |
| 3 粘度计的检定方法 .....             | ( 614 ) |
| 3.1 一般检定方法介绍 .....           | ( 614 ) |
| 3.2 毛细管粘度计的检定(要点) .....      | ( 615 ) |
| 3.3 旋转粘度计的检定(要点) .....       | ( 616 ) |
| 3.4 滚落式落球粘度计的检定(要点) .....    | ( 617 ) |
| 3.5 恩氏粘度计的检定(要点) .....       | ( 617 ) |
| 3.6 ISO 流出杯式粘度计的检定(要点) ..... | ( 618 ) |

## 附 录

|                                      |         |
|--------------------------------------|---------|
| 附录 A 检定规程目录 .....                    | ( 620 ) |
| 附录 B 国家标准目录 .....                    | ( 620 ) |
| 附录 C 0~100℃ 水的动力粘度、<br>运动粘度和密度 ..... | ( 627 ) |
| 附录 D 某些液体的粘度值 .....                  | ( 629 ) |
| 附录 E 某些液体的粘温图 .....                  | ( 639 ) |
| 附录 F 某些气体的粘度 .....                   | ( 645 ) |
| 附录 G 某些气体的粘温图 .....                  | ( 649 ) |
| 参考文献 .....                           | ( 652 ) |

## 第 5 篇 重 力

### 第 28 章 概 念

- 1 重力计量的概念 ..... (653)
  - 1.1 重力定义 ..... (653)
  - 1.2 重力加速度、重力单位 ..... (653)
- 2 地球重力场 ..... (653)
  - 2.1 概述 ..... (653)
  - 2.2 地球重力场是变化的 ..... (653)
- 3 重力测量意义 ..... (654)
  - 3.1 重力与计量 ..... (654)
  - 3.2 重力与空间技术 ..... (654)
  - 3.3 重力与地球形状 ..... (654)
  - 3.4 重力与探矿 ..... (654)
  - 3.5 重力与地震 ..... (655)
  - 3.6 重力与地壳形变 ..... (655)
  - 3.7 重力与航海 ..... (655)
  - 3.8 重力与地球动力学 ..... (655)
  - 3.9 重力与天体物理 ..... (655)
  - 3.10 重力与第 5 种力研究 ..... (655)

### 第 29 章 相对重力测量

- 1 概述 ..... (656)
- 2 各类相对重力仪的原理与特性 ..... (656)
  - 相对重力仪种类、原理与特性 ..... (656)
- 3 相对重力仪格值标定 ..... (657)
- 4 相对重力仪其他几个系数的确定 ..... (658)
  - 4.1 温度系数 ..... (658)
  - 4.2 气压系数 ..... (658)
  - 4.3 磁性系数 ..... (658)
- 5 相对重力仪的零点漂移 ..... (658)

### 第 30 章 绝对重力测量

- 1 概述 ..... (659)
- 2 绝对重力测量原理 ..... (659)
  - 2.1 摆仪测量原理 ..... (659)
  - 2.2 斜面法测量原理 ..... (659)
  - 2.3 旋转液体法测量原理 ..... (659)
  - 2.4 自由下落法测量原理 ..... (660)
  - 2.5 对称自由运动法测量原理 ..... (660)

- 3 NIM—Ⅱ型绝对重力仪 ..... (660)
  - 3.1 测量原理 ..... (660)
  - 3.2 NIM—Ⅱ型各系统 ..... (661)
  - 3.3 误差分析 ..... (663)
- 4 国际绝对重力测量 ..... (666)
  - 4.1 伽里略发现落体规律 ..... (666)
  - 4.2 惠更斯摆 ..... (666)
  - 4.3 里哈的重大发现 ..... (666)
  - 4.4 维也纳重力系统 ..... (666)
  - 4.5 波茨坦重力系统 ..... (666)
  - 4.6 新的世界重力网 IGSN-71 建立 ..... (666)
  - 4.7 当今世界绝对重力测定准确度 ..... (667)
  - 4.8 世界各国绝对重力仪的研究、运用和发展动向 ..... (667)
- 5 中国绝对重力测量 ..... (667)
  - 5.1 我国古代朴素的引力思想 ..... (667)
  - 5.2 中国最早的重力测量 ..... (667)
  - 5.3 我国第一个重力系统 ..... (667)
  - 5.4 我国第一台固定式绝对重力仪 ..... (667)
  - 5.5 我国第一代可移式绝对重力仪 NIM—Ⅰ ..... (667)
  - 5.6 我国第二代可移式绝对重力仪 NIM—Ⅱ ..... (668)

### 第 31 章 重力测点及重力传递

- 1 绝对重力测点 ..... (669)
- 2 重力传递 ..... (669)
  - 2.1 概述 ..... (669)
  - 2.2 国际重力传递参考系统 ..... (669)
  - 2.3 我国重力传递参考系统 ..... (669)
- 3 重力基线场 ..... (670)
  - 3.1 概述 ..... (670)
  - 3.2 国家级重力基线场 ..... (670)
  - 3.3 各部门建立的重力基线场 ..... (670)
- 4 绝对重力仪国际比对 ..... (670)
  - 4.1 60~70 年代绝对重力仪比对 ..... (670)
  - 4.2 第一次国际大比对(1981 年) ..... (671)
  - 4.3 第二次国际大比对(1985 年) ..... (671)
  - 4.4 第三次国际大比对(1989 年) ..... (672)

# 第 1 章 概 述

## 1 质量与质量计量

质量是人们描述其可以接触到周围的自然现象所使用的一种概念,是物体所含物质多少的量度。在物理学中,一个物体的质量,可视为表征该物体的系数,其数值是由该物体所受的重力除以当地的重力加速度来确定的一个不因地理位置改变的不变量。质量是物体的重要属性之一,是描述物体惯性和引力性质的渊源,亦是惯性质量和引力质量的统称。物体的质量  $m$  与它的速度  $v$  有关:

$$m = m_0 / \sqrt{1 - v^2/c^2} \quad (1-1)$$

式中,  $m_0$  为静止质量( $v=0$  时);真空中光速  $c=2.997\,924\,6 \times 10^8 \text{ m/s}$ 。

宏观物体的速度一般远比  $c$  小,所以  $m$  和  $m_0$  相差极微小,因而可把质量当作常量。爱因斯坦(Einstein)在他的广义相对论中证明,用惯性和引力来定义的质量实际上是完全相等的。人们要认识自然,就必须认识这一物体质量的基本性质。质量计量就是为达到这个目的的重要手段。

人们在社会活动和生产活动中,经常要进行物质交换或物料配比,这些都离不开质量计量工作。

质量计量是力学计量中最基本的计量项目之一,它与密度、力值、容量、压力、流量等力学计量密不可分。

质量计量就其根本而言,就是采用适当的仪器和方法,确定被测物体与作为质量单位的国际千克原器之间的质量对应关系。

质量计量的基本任务是:建立各级质量基准和标准,保证各级质量基准的准确一致和量值可靠;分析质量计量中的各种影响因素;研究和改进质量计量的称量方法,提高工作效率;简化质量传递系统,便于质量传递,确保全国质量量值的统一;探索新的质量基准,提高准确度,扩大质量计量的量限和不断采用新的计量方法”。

## 2 质量计量的特性

### 2.1 质量、重量与重力

质量是惯性质量与引力质量的统称。所有物体都具有惯性和引力两种性质。惯性是每个物体所具有抵抗外力改变其原有运动状态的一种能力;引力则是每个物体所具有吸引其它物体的一种性质。实验证明,量度物体这两种性质的物理量——惯性质量和引力质量之间是成正比的,只要选取适当的计量单位,可使惯性质量和引力质量在数值上相等。因而在使用中,这两种质量可以不加区别,统称为质量。

重量是质量习惯上的别名。1984 年 2 月 27 日国务院公布的“中华人民共和国法定计量单位”中指出,在“人民生活和贸易中,质量习惯上称为重量”。过去把重量作为重力的别名,例如 1901 年第三届国际计量大会(CIPM)曾定义:物体的重量是它的质量与重力加速度的乘积。今后凡在指力的场合,重量应改为“重力”一词,以免产生混淆。

重力是地面附近物体所受地球引力大小的量度,它是地球引力与因地球自转而作用在物理上惯性离心力的合力。在地球的不同纬度处,由于地球引力、惯性离心力的大小及其夹角不同,致使重力的大小随纬度而变化。同一物体在赤道上受到的重力,要比两极小  $1/300$ 。

### 2.2 质量计量基准

#### 2.2.1 国际公斤原器

质量在国际单位制(SI)中是七个基本单位之一,也是力学计量中唯一的基本单位。质量在 SI 中用符号 kg(千