

计量测试技术手册

第5卷 力学(二)

《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，全套共 13 卷。

本卷为《计量测试技术手册》第 5 卷力学(二)，内容包括测力、硬度、振动与冲击、转速等四篇。

本卷供从事力学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 Measuring Technology involves the measuring basic, geometrical quantity, temperature, mechanics, electro-magnetism, electronics, acoustics, optics, time and frequency, ionizing radiation, chemistry etc, The whole set consists of thirteen volumes.

This book, Mechanics II, is volume 5 of the Handbook, content of which includes force, hardness, vibration, shock and tachometry. 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 5 卷 力学(二) / 《计量测试技术手册》编辑委员会编著. -北京: 中国计量出版社, 1997.4

ISBN 7-5026-0750-1/TB·465

I. 计… II. 计… III. ①计量-测试技术-手册②力学-计量-测试技术 IV. ①TB9-62②TB9

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (95) 第 10415 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 48.75 字数 1 663 千字

1997 年 4 月第 1 版 1997 年 4 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要,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们表示敬意。



1995年10月18日

王大新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 鹑	黄秉英	窦绪昕
谢 英	潘君骅	潘秀荣		

本卷编辑委员会

主 编：林 鸿 初

副 主 编：施昌彦 孙维民

委 员：(按姓氏笔画排列)

连大鸿 李振民 杨辉其 何天祥 沈 杨

金文博 赵洪发 徐 殷 盛敏学 薛新法

本卷责任编辑：陈艳春

本卷责任编辑：孙维民

版 式 设 计：席秀莲

插 图 设 计：孙丽英

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、经济和社会的发展而日益扩展、充实和提高。本卷涉及的力值、硬度、振动、冲击和转速，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。

本卷分为四篇，即力值篇、硬度篇、振动与冲击篇和转速篇，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、标准等内容。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。

本卷的力值篇由施昌彦、李振民、赵洪发编写；硬度篇由杨辉其、金文博编写；振动、冲击篇由徐殷、薛新法、连大鸿、盛敏学、何天祥编写；转速篇由徐殷编写。全卷由林鸿初、施昌彦和孙维民统稿完成。

撰编手册是一项繁复而细致的工作，限于水平和时间关系，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 力值计量测试

第1章 概 述

1 力的概念和力值计量的意义	(1)
1.1 力的概念和单位	(1)
1.2 力值计量测试的意义和任务	(1)
2 力的测量方法和分类	(2)
2.1 测力的原理和方法	(2)
2.2 力及力值计量的分类	(3)
3 静态力的测量	(4)
3.1 静态力测量及其分类	(4)
3.2 拉伸(拉向)力的测量和拉伸试验	(4)
3.3 压缩(压向)力的测量和压缩试验	(5)
3.4 弯曲试验	(6)
3.5 扭转试验	(6)
3.6 剪切试验	(6)
3.7 蠕变试验	(6)
3.8 持久试验	(7)
3.9 松弛试验	(7)
3.10 多分量力的测量	(7)
4 动态力的测量	(7)
4.1 动态力的测量及其分类	(7)
4.2 疲劳试验	(8)
4.3 冲击试验	(8)

第2章 测力传感器的原理及其校准

1 应变式测力传感器	(9)
1.1 电阻应变效应和电阻应变计	(9)
1.2 弹性体	(12)
1.3 工作原理和测量电路	(15)
2 压磁式测力传感器	(18)
2.1 压磁效应	(18)
2.2 工作原理	(18)
2.3 压磁元件	(19)
2.4 测量电路	(20)

3 压电式测力传感器	(21)
3.1 压电效应	(21)
3.2 结构特点	(23)
3.3 测量电路	(23)
4 振弦式测力传感器	(24)
4.1 工作原理	(24)
4.2 振弦的激发	(25)
4.3 非线性的改善	(25)
4.4 测量电路	(26)
5 陀螺式测力传感器	(26)
5.1 陀螺仪原理	(26)
5.2 结构特点和测量方法	(27)
6 其他形式的传感器	(27)
7 测力传感器的校准方法	(28)
7.1 传感器的评定方法	(28)
7.2 传感器的试验方法	(31)
7.3 校准设备和仪表	(33)
7.4 校准方法	(33)

第3章 试验机分类

1 金属材料试验机	(36)
1.1 静负荷试验机	(36)
1.2 动负荷试验机	(37)
2 非金属材料试验机	(37)
3 摩擦、磨损与工艺试验机	(37)

第4章 金属材料试验机

1 液压式试验机	(38)
1.1 WE-A系列液压万能试验机	(38)
1.2 WE-B系列液压万能试验机	(42)
1.3 WEW系列液压万能试验机	(43)
2 机械式万能试验机	(45)
2.1 结构与工作原理	(45)
2.2 主要技术参数	(45)

7.5 涂膜厚度测定器	(136)	2.1 静重式力基、标准机	(152)
7.6 涂膜干燥时间测定器	(137)	2.2 杠杆式力标准机	(152)
7.7 附着力测定器	(137)	2.3 液压式力基、标准机	(153)
7.8 漆膜冲击器	(137)	2.4 叠加式力标准机	(155)
7.9 磨损试验器	(138)	3 标准测力仪	(156)
7.10 涂膜硬度计	(138)	3.1 电阻应变式标准测力仪	(156)
8 水泥与混凝土试验机	(139)	3.2 百分表式标准测力仪	(156)
8.1 水泥试验机	(139)	3.3 光学式标准测力仪	(156)
8.2 混凝土试验机	(140)	3.4 水银箱式标准测力仪	(156)
8.3 电动抗折仪	(141)	3.5 多分量测力仪	(157)
9 土壤试验机	(142)	4 扭矩基、标准机和标准扭矩仪	(157)
9.1 土工用土壤力学性能试验方法	(142)	4.1 扭矩基、标准机	(157)
9.2 单面剪切试验仪	(142)	4.2 扭矩仪和标准扭矩仪	(158)
9.3 无侧限抗压强度试验仪	(144)	4.3 扭矩扳子和扭矩扳子检定仪	(158)
9.4 三轴压缩试验机	(144)	4.4 转矩测量装置	(158)
9.5 特种剪切试验仪	(145)	5 摆锤式基、标准冲击机和标准	
10 岩石试验机	(145)	冲击块	(159)
10.1 岩石试验方法与岩石试验机	(146)	5.1 摆锤式基、标准冲击机	(159)
10.2 岩石蠕(流)变仪	(146)	5.2 标准冲击块	(159)
10.3 典型产品的技术参数	(148)		

第6章 力值的复现及其传递

1 力值计量器具的检定	(149)
1.1 力值计量器具的分类	(149)
1.2 力值检定的不确定度要求	(149)
1.3 力值检定的环境要求	(149)
1.4 力值检定的过程和步骤	(150)
1.5 力值检定中的寄生效应和重叠效应	(150)
1.6 力值计量器具检定系统	(150)
2 力基准机和力标准机	(152)

附 录

附录1 国家计量检定规程目录	(160)
附录2 国家计量检定系统目录	(161)
附录3 国家计量技术规范目录	(161)
附录4 国家计量基准、标准操作	
技术规范目录	(161)
附录5 国际法制计量组织国际建议	
目录	(161)
参考文献	(162)

第2篇 硬度计量测试

第7章 概 述

1 硬度与硬度试验	(163)
2 硬度试验的特点和应用	(163)
2.1 非破坏性	(163)
2.2 易行性	(163)
2.3 高效率	(163)
2.4 可比性	(163)
3 硬度计量测试工作的现状与发展	(163)
3.1 硬度试验全过程自动化	(164)

3.2 在线自动测量	(164)
3.3 非金属材料硬度测量	(164)
3.4 发展硬度检定测试技术, 加强硬	
度量值管理	(164)
4 硬度量值检定系统	(164)

第8章 布氏硬度试验及硬度计

1 布氏硬度试验法	(165)
1.1 布氏硬度试验及其应用	(165)
1.2 布氏硬度试验误差分析	(170)

2 布氏硬度计	(188)
2.1 普通布氏硬度计	(188)
2.2 光学布氏硬度计	(192)
2.3 HBZ-3000A 型自动布氏硬度计	(193)

第 9 章 洛氏和表面洛氏硬度试验及硬度计

1 洛氏硬度试验法及其应用	(198)
1.1 洛氏硬度试验	(199)
1.2 表面洛氏硬度试验法及其应用	(201)
1.3 洛氏及表面洛氏硬度试验误差分析	(204)
2 洛氏硬度计	(209)
2.1 普通洛氏硬度计	(209)
2.2 电动洛氏硬度计	(212)
2.3 光学布洛维硬度计	(214)
2.4 HRS-150 型数显洛氏硬度计	(216)
2.5 CSS-144 型微机自动洛氏硬度计	(218)
2.6 HSRU-45 型光学表面洛氏硬度计	(221)

第 10 章 维氏和显微硬度试验及硬度计

1 维氏硬度试验法及其应用	(223)
1.1 维氏硬度试验	(223)
1.2 显微硬度试验	(227)
1.3 显微维氏硬度试验	(227)
1.4 努普硬度试验	(230)
1.5 维氏及显微硬度试验误差分析	(232)
2 维氏与显微硬度计	(236)
2.1 HV-5 型小负荷维氏硬度计	(236)
2.2 HV-120 型维氏硬度计	(238)
2.3 HX-200 型显微硬度计	(240)
2.4 HX-1000 型、HXD-1000 型显微 硬度计	(242)

第 11 章 肖氏与里氏硬度试验及硬度计

1 肖氏与里氏硬度试验	(248)
1.1 肖氏硬度试验	(248)
1.2 里氏硬度试验	(251)
2 肖氏、里氏及超声硬度计	(263)
2.1 HS-19A 型肖氏硬度计	(263)
2.2 里氏硬度计	(264)
2.3 HRS-1 型超声硬度计	(268)

第 12 章 非金属硬度试验及硬度计

1 非金属硬度试验	(273)
1.1 塑料洛氏硬度试验	(273)

1.2 塑料球压痕硬度试验	(276)
1.3 邵氏硬度试验	(277)
1.4 橡胶国际硬度试验	(279)
1.5 赵氏硬度试验	(283)
1.6 巴克尔硬度试验	(283)

2 非金属硬度计	(285)
2.1 P.HBI-62.5A 型、P.HBI-98A 型 塑料球压痕硬度计	(285)
2.2 XHA 型小负荷橡胶硬度计	(286)
2.3 XHS 型邵氏橡胶硬度计	(287)

第 13 章 金刚石压头和标准硬度块

1 金刚石压头	(290)
1.1 洛氏及表面洛氏金刚石压头	(290)
1.2 金刚石圆锥体压头的检验	(291)
1.3 维氏及显微维氏金刚石压头	(293)
1.4 努普压头	(295)
2 球压头	(295)
3 标准硬度块	(296)
3.1 制造要求	(296)
3.2 硬度特性	(297)

第 14 章 硬度计量器具检定系统与 国家基准装置

1 布氏硬度计量器具检定系统与 基准装置	(300)
1.1 检定系统框图	(300)
1.2 计量基准器具	(301)
1.3 计量标准器具	(301)
1.4 工作计量器具	(301)
1.5 基准布氏硬度计	(302)
2 金属洛氏硬度计量器具检定系统 及基准装置	(302)
2.1 检定系统框图	(303)
2.2 计量基准器具	(303)
2.3 计量标准器具	(303)
2.4 工作计量器具	(304)
2.5 洛氏硬度基准装置	(304)
3 金属表面洛氏硬度计量器具检定 系统及基准装置	(305)
3.1 检定系统框图	(305)
3.2 计量基准器具	(306)
3.3 计量标准器具	(306)
3.4 工作计量器具	(307)

3.5 表洛硬度基准装置	(307)	检定系统及基准装置	(313)
4 维氏硬度计量器具检定系统及 基准装置	(308)	6.1 检定系统框图	(313)
4.1 检定系统框图	(308)	6.2 计量基准器具	(314)
4.2 计量基准器具	(309)	6.3 计量标准器具	(314)
4.3 计量标准器具	(309)	6.4 工作计量器具	(315)
4.4 工作计量器具	(309)	6.5 肖氏硬度基准装置	(315)
4.5 维氏硬度基准装置	(309)		
5 显微硬度计量器具检定系统及 基准装置	(311)	附 录	
5.1 检定系统框图	(311)	附录 1 国家计量检定规程目录	(316)
5.2 计量基准器具	(311)	附录 2 国家计量检定系统目录	(316)
5.3 计量标准器具	(312)	附录 3 国家计量技术规范目录	(317)
5.4 工作计量器具	(312)	附录 4 国家计量基准、副基准操作 技术规范目录	(317)
5.5 显微硬度基准装置	(312)	附录 5 国际法制计量组织国际建议 目录	(317)
6 肖氏硬度 (D 标尺) 计量器具		参考文献	(318)

第 3 篇 振动、冲击计量与测试

第 15 章 概 述

1 振动参数的测量	(319)	6.4 平均速度测量法	(346)
2 振动频率的测量	(319)	6.5 相关测速法	(347)
2.1 录波比较法	(319)	6.6 多普勒效应测速法	(349)
2.2 李沙育图形法	(319)	6.7 空间滤波器测速法	(354)
2.3 频闪法	(320)	7 振型的测定	(356)
2.4 频率计法	(321)	7.1 砂型法	(357)
2.5 机械测频法	(323)	7.2 探针法	(357)
3 相位的测量	(323)	7.3 激光全息摄影法	(357)
3.1 示波器测量法	(323)	7.4 传感器逐点读数测定法	(357)
3.2 电压表测量相移法	(325)	7.5 谱分析法	(358)
3.3 数字相位计法	(326)	7.6 振型测定的试验模态分析法	(358)
4 振动幅值的电测量	(327)	8 振动结构特性参数常用测量方法	(359)
4.1 电压参数的三值转换	(327)	8.1 振动系统固有频率的测量	(360)
4.2 电压表测量振动波形的误差	(327)	8.2 衰减系数及相对阻尼系数的测量	(361)
5 振动位移幅值的测量	(331)	8.3 质量与刚度的测量	(363)
5.1 机械式测振仪	(333)	9 机械阻抗的测量	(364)
5.2 直读式光学测振法	(333)	9.1 激励方法的选择	(365)
5.3 激光干涉位移测量法	(335)	9.2 安装与支承方法	(368)
6 振动速度的测量	(343)	9.3 机械阻抗测试系统的构成	(368)
6.1 加速度积分测速法	(346)	9.4 提高测试准确度的方法	(369)
6.2 非电量测速法	(346)	9.5 标定与检验	(370)
6.3 互换测速法	(346)		

第 16 章 振动传感器

1 振动传感器的分类	(372)
------------------	-------

1.2 电压前置放大器	(523)	2.3 速度改变法	(570)
1.3 电荷前置放大器	(524)	2.4 冲击力法	(575)
1.4 电压、电荷前置放大器的比较 及使用	(525)	2.5 利用长杆谐振的高加速度冲击校准	(576)
1.5 电荷放大器的检定	(528)	2.6 Hopkinson (霍普金森) 压缩波法	(577)
1.6 电荷放大器的自动检定装置	(528)	2.7 激光-多普勒一次冲击校准	(580)
2 微积分电路及滤波器	(529)	2.8 结论	(583)
2.1 微积分电路	(529)	3 二次冲击校准	(583)
2.2 滤波器的功能及分类	(531)	3.1 时域峰值响应二次冲击校准	(583)
2.3 滤波器的特征参数	(532)	3.2 频域二次冲击校准	(585)
2.4 模拟滤波器	(535)	4 冲击测量	(587)
2.5 数字滤波技术	(537)	4.1 冲击现象的描述	(587)
3 振动冲击测量用记录仪	(541)	4.2 测量系统瞬态性能的工程保证	(590)
3.1 电平记录仪	(541)	5 冲击测量仪器	(596)
3.2 笔式记录仪	(541)	5.1 峰值保持电压表	(596)
3.3 X-Y 记录仪	(541)	5.2 记忆示波器	(599)
3.4 数字记录仪	(543)	5.3 数字波形存储器	(599)
3.5 光线示波器	(544)	5.4 数字示波器	(602)
3.6 磁带记录仪	(544)	5.5 可编程数字示波器	(602)
3.7 各种记录仪的比较与选择	(545)		
4 模拟分析仪及失真度测量仪	(546)		
4.1 顺序(调谐)式频率分析仪	(546)		
4.2 并联式频率分析仪	(546)		
4.3 外差式频率分析仪	(546)		
4.4 失真度测量仪	(548)		
4.5 频率分析仪的比较与选择	(548)		
4.6 模拟式滤波器的使用	(549)		
5 振动测量仪器	(552)		
5.1 振动计	(552)		
5.2 数字式频率计	(553)		
5.3 特斯拉计	(553)		
5.4 数字式电压表	(554)		
5.5 振动测量仪器的配套	(554)		
5.6 组合系统的校准	(555)		
6 数字式动态信号分析仪	(556)		
6.1 数字式动态信号分析仪的结构	(556)		
6.2 动态信号分析仪的应用	(557)		
6.3 动态信号分析仪的检定	(561)		

第 21 章 冲击试验设备与检测

1 冲击试验概述	(604)		
1.1 冲击试验的重要性	(604)		
1.2 国内、外冲击与碰撞试验条件	(604)		
2 冲击试验方法及规范	(606)		
2.1 冲击试验方法及其选择	(606)		
3 冲击试验设备	(614)		
3.1 凸轮式机械碰撞台	(614)		
3.2 气液式冲击试验台	(615)		
3.3 落体式冲击试验台	(615)		
4 冲击试验设备的性能检测	(617)		
4.1 凸轮式冲击碰撞台的技术指标	(617)		
4.2 气液式碰撞试验台的技术指标	(617)		
4.3 气液式碰撞试验台的性能检测	(617)		
4.4 落体式冲击试验台	(620)		
5 冲击测量仪	(620)		
5.1 冲击测量仪概述	(620)		
5.2 冲击测量仪的选用	(620)		
6 冲击加速度参数的测量误差	(620)		
6.1 参数测量误差的评估	(620)		
6.2 总不确定度的计算	(625)		
6.3 冲击加速度峰值测量误差的评估	(625)		
6.4 冲击灵敏度的绝对误差	(626)		

附 录

附录 1 国家计量检定规程目录	(627)
-----------------	-------

附录2 国家计量检定系统目录 (627)

技术规范目录 (628)

附录3 国家计量基准、副基准操作

参考文献 (629)

第4篇 转速计量与测试

第22章 转速的基本概念

1 转速的物理量 (631)
1.1 角度和角位移 (631)
1.2 角速度与转速 (631)
1.3 角速度与线速度 (633)
1.4 角加速度与离心力、向心力 (634)
1.5 平动与转动——物理概念汇总 (634)
2 转速表的分类与准确度分级 (634)
2.1 转速表的分类 (634)
2.2 转速表的准确度分级 (636)
3 转速的量值复现方法与量值传递 (637)
3.1 转速的量值复现方法 (637)
3.2 转速计量器具的量值传递系统 (637)

第23章 转速测量的基本方法

1 概述 (639)
2 频闪法 (640)
2.1 频闪测速原理 (640)
2.2 频闪法评定转速不确定度的性质 (641)
2.3 频闪法评定不确定度的误差分析 (642)
2.4 频闪盘的使用 (642)
3 转速的频率测量法 (643)
3.1 频率测量法原理 (643)
3.2 测频法误差分析 (643)
3.3 测频法的准确度 (644)
4 转速的周期测量法 (645)
4.1 计数器测周期的基本原理 (645)
4.2 测周法误差分析 (645)
4.3 提高测周法准确度的方法 (646)
4.4 测周法在转速测量中的应用 (646)
4.5 中界频率、开齿技术及周期倍乘率 (648)
5 低速转台的测量方法 (648)
5.1 光线反射放大法 (649)
5.2 光栅和感应同步器用于转速、转角 测量 (649)
5.3 激光陀螺和光纤陀螺 (651)
5.4 激光衍射测量转速 (653)

5.5 散斑测量转速 (653)
5.6 塞曼双频激光测量转速 (654)
5.7 多普勒效应测转速 (655)
5.8 空间滤波器测转速 (655)
6 瞬态转速的测量 (656)
6.1 转速瞬态测量的原理和方法 (656)
6.2 测速发电机测量瞬态转速 (660)
6.3 角度传感器测量瞬态转速 (660)
6.4 测量瞬时转速的简易方法 (662)
7 转差率的测量 (663)
7.1 用测量转速的方法测转差率 (663)
7.2 测量转子电流频率测转差率 (664)
7.3 频闪法测转差率 (664)
7.4 数字式转差率测量仪 (664)

第24章 转速表原理、型号与检定

1 概述 (666)
2 机械式转速表 (666)
2.1 离心式转速表 (666)
2.2 定时式转速表 (671)
3 磁电式转速表 (673)
3.1 磁电式转速表的工作原理 (673)
3.2 磁电式转速表的误差分析 (674)
3.3 磁电式转速表型号规格 (674)
3.4 车速里程表 (681)
4 频闪式转速表 (686)
4.1 机械式频闪测速仪 (686)
4.2 数字式频闪测速仪 (687)
5 电子计数式转速表 (691)
5.1 电子计数式转速表工作原理 (691)
5.2 转速数字显示仪 (691)
5.3 手持式数字转速表 (693)
5.4 汽车发动机转速表 (695)
5.5 电子计数式转速表型号简介 (696)
6 出租车计价器及其检定 (712)
6.1 有关出租车计价器的名词术语 (712)
6.2 出租车计价器工作原理和使用 (713)

第 25 章 标准转速装置

1 标准转速装置	(714)
1.1 BZ-4 (JAQUET) 转速表校验台	(714)
1.2 KTY-1M 型转速表校验台	(718)
1.3 车速里程表校验仪	(719)
1.4 部分速度表校验仪、车速里程表 校验仪介绍	(722)
2 高准确度标准转速装置	(725)
2.1 GZ-1 高准确度标准转速装置	(725)
2.2 CNR-1 高准确度标准转速装置	(727)
2.3 GZJY 型标准转速装置	(729)
3 检定项目的选择	(730)

第 26 章 转速计量的应用

1 转速图谱在信号特征分析中的 应用	(732)
1.1 概述	(732)

1.2 平均功率谱及平均阶比谱	(734)
1.3 时间频率谱阵及时间阶比谱阵	(735)
1.4 转速频率谱阵及转速阶比谱阵	(737)
1.5 转速频率坎贝尔图及转速阶比坎贝 尔图	(737)
1.6 跟踪频率谱及跟踪阶比谱	(739)
1.7 跟踪复合功率谱图	(741)
1.8 全息谱分析	(741)
2 转矩-转速特性的应用	(743)
2.1 概述	(743)
2.2 转矩-转速特性的应用	(746)
2.3 各种测功机的特性曲线	(753)

附 录

附录 1 国家计量检定规程目录	(755)
附录 2 国际法制计量组织国际建议 目录	(755)
参考文献	(756)

第 1 章 概 述

1 力的概念和力值计量的意义

1.1 力的概念和单位

1.1.1 力值的定义

力是物质之间的一种相互作用。物体或粒子受到力作用的结果,是其动量发生改变而获得加速度,或者是其发生变形。力是矢量,要完整地描述一个力,必须知道它的大小,方向和作用点,这就是力的“三要素”。力值就是力的大小,是力的基本要素之一。

1.1.2 力值的单位

在国际单位制中,力值的单位是牛顿,其符号为大写正体英文字母 N。1 牛顿(N)是使 1kg 质量的物体产生 1m/s^2 加速度的力。牛顿简称“牛”(N),是我国法定的力值计量单位。

目前,由于历史和习惯方面的原因,在有些场合还使用一些非法定的力值单位,如 kgf, tf, lbf(英制), kp 和 Mp(德制)等,它们与法定单位 N 的换算关系为:

$$1 \text{ kgf} = 1 \text{ kp} = 9.806\ 65 \text{ N}$$

$$1 \text{ tf} = 1 \text{ Mp} = 9\ 806.65 \text{ N}$$

$$1 \text{ lbf} = 4.448\ 3 \text{ N}$$

使 1t 质量的物体产生 1m/s^2 加速度的力,在历史上曾叫做 1 斯坦(sn),显然它等于 10^3N 或 1 千牛(kN)。目前斯坦已经废除,而以牛顿的倍数单位“千牛”代之。使 1g 质量的物体产生 1cm/s^2 加速度的力,叫做 1 达因(dyn),它等于 10^{-5}N 或 10 微牛(μN)。达因在物理学上曾有所应用,目前也已废除,而以牛顿的分数单位“微牛”代之。

1.2 力值计量测试的意义和任务

力值计量是力学计量的重要方面,也是物理学和其它许多学科的重要实验研究基础。力值计量测试的实用性很强,它在工业、农业、交通运输、建筑、国防、医疗卫生和人民生活等各个方面都有广泛的应用。例如:

(1)在建筑业和各种制造业中,为了正确合理地选择和使用材料,例如金属、非金属、合金、高分子聚合物及复合材料等等,都必须知道材料的机械(力学)性能;在对新材料、新工艺的科学研究中,也需要测定材料的各项机械性能。而这些力学性能试验的数据是否准确可靠,依赖于以力值为主要特征的材料试验机及应力、应变测量仪是否准确一致。

(2)在设计和制造新型机器和设备的受力部件,特别是大型构件(如桥梁、汽车、火车、船舶、飞机、火箭等主体结构架)时,经常需要进行专门的整体结构试验,进行强度、刚度和稳定性等考核,以评定设计、工艺的合理性和可靠性。因此,要求作为加载试验装备的结构试验机,必须准确可靠地施加和测量各个部位的力值或负荷。

(3)在冶金、航天、能源等工业部门的生产过程中,常常需要测量和控制各种各样的力,以实现生产自动化、保证产品质量或设备的安全运行。如自动化轧钢生产线需要对轧制力(压向力)和张力进行测量,以实现计算机控制,提高钢板的产量和质量,并保护轧辊避免断裂;准确测定和控制运载火箭发动机的推力,关系到节省昂贵的地面试验次数、缩短研制周期和确保火箭的成功发射;庞大的海洋石油钻井平台及大型飞机等需要测定其整体重心,以满足稳定和安全的要求。再如汽车、铁路机车等的牵引力,大型船舶的锚链拉力,建筑物桩基和水库大坝等的承载力等等,也都需要进行准确的或实地、现场的测量。显然,要保证这些测量结果的准确可靠,首先要保证这些测量使用的测力仪器的准确可靠。

(4)电子称重技术已在各行各业得到广泛应用,其基本原理主要可以概括为用电子称重设备测定物料在重力场中的重力,再经过转换而测得其质量(重量)。而作为力-电转换元件的称重传感器,特别是大秤量的传感器、甚至称重仪整体,都需要采用测力的方法加载,以解决其性能测试问题。因此,相应的力测量方法和装置对保证正确评定电子称重设备的计量性能是必不可少的,它关系到工业、商业和贸易等诸多方面。

(5)医学、生物工程、劳动保护及体育运动研究方面,需要测量骨骼、肌肉及人体有关部位的承载力和运动过程中的激发力等,用以研究人体力学状态,确保人身安全和提高运动成绩等。

由此可见,力值计量测试在经济建设、国防建设、科学研究和社会发展中具有重要意义。

按国家法定计量单位,准确可靠地复现、保存、传递力值,在现场精密地测定力值,是力值计量测试的基本任务。

2 力的测量方法和分类

2.1 测力的原理和方法

力的本质是物质之间的相互作用。这种作用在宏观上可以改变物体的机械运动状态或改变物体所具有的动量,使物体产生加速度,这是力的“动力效应”或外效应。它也可以使物体产生变形,在物体中产生应力,这是力的“静力效应”或内效应。实际上,在物体受力的作用时,这两种效应常常是同时发生的。换言之,物体受力是以有加速度或变形为表征的,其中物体变形又与其应力和应变相联系。测量力值的原理和方法,通常即可归纳为利用力的动力效应和静力效应两种。

2.1.1 力的动力效应

力的动力效应使物体产生加速度,根据牛顿第二定律,确定了物体的质量 m 及其所获得的加速度 a ,即可求得力值 F :

$$F = ma \quad (1-1)$$

显然,利用地球重力场中已知的当地重力加速度 g 来测力,是十分方便的。此时测力问题就归结为质量 m 的测量,即

$$F = mg(1 - \rho_a/\rho_w) \quad (1-2)$$

式中, ρ_a 、 ρ_w 分别为空气和物体材料的密度。

例如:静重式标准测力机就是利用已知质量的砝码,在已知重力场中所产生的重力来复现力值的。杠杆式和液压式标准测力机,则是利用杠杆和液压系统,对此重力进行放大来复现或传递较大的力值或大力值的。有些材料试验机的测力机构,使试样所受的未知力值缩小后,跟已知质量的游标或摆锤的重力相平衡,利用的也是力的动力效应。

2.1.2 力的静力效应

力的静力效应使物体产生变形,利用物体的某种特性因变形或应变而变化的对应关系或效应,即可确定或传递力值 F 。例如对于弹性体,利用胡克定律可依据变形量 Δx 的测量,来确定力值 F ,即

$$F = k\Delta x$$

式中, k 为弹性体的刚度。

应变式测力传感器利用金属导线电阻的应变效应,将被测力值转换为电阻 R 的变化率 $\Delta R/R$,即

$$\Delta R/R = [1 + 2\mu + C(1 - 2\mu)]\epsilon = K_0\epsilon \quad (1-3)$$

式中, μ 为金属导线材料的泊松比; C 为电阻率的变化率与导线体积变化率之比,为常数; ϵ 为导线的纵向应变; K_0 为应变灵敏系数,也为常数。

换言之,受力后传感器的弹性体产生应变,比例地传递到电阻应变计,再转换成与力值成正比的电量。由于弹性体结构的多样性,使这种测力传感器能按被测力的性质、大小、准确度要求、安装空间及工作条件等不同情况来设计和制造,因而得到广泛应用。

压阻式测力传感器利用半导体的压阻效应,将被测力值转换为电阻率 ρ 的变化率 $\Delta\rho/\rho$,即

$$\Delta\rho/\rho = \pi E\epsilon \quad (1-4)$$